

Energie nucléaire : de l'usage militaire à l'usage civil

Présentation réalisée à l'attention des
enseignants de géographie. 07.03.2013

Nagasaki 09.08.1945

- Photos de la ville de Nagasaki prises avant et après le largage de la bombe « Fatman » à plutonium.
- Il y eut officiellement 40'000 décès immédiats et un nombre controversé de décès ultérieurs.



Une conscience lourde, dès la fin de la guerre

« Si les Allemands avaient largué des bombes atomiques à notre place, nous aurions qualifié de crimes de guerre les bombardements atomiques sur des villes, nous aurions condamné à mort les coupables allemands lors du procès de Nuremberg et les aurions pendus. »

Leó Szilárd, physicien ayant participé au projet Manhattan.
1898-1964



Appel de Stockholm, 1950



Assemblée du parti communiste français avec une reproduction géante de l'appel de Stockholm.

Développement de l'arme nucléaire

- Les essais nucléaires étasuniens continuent.
- Les Etats Unis cherchent une diversion efficace



« Atomes pour la paix »... et course aux armements

En 1953 au moment où le Président Eisenhower donne son célèbre discours devant l'Assemblée générale de l'ONU, les USA avaient déjà procédé à 42 essais nucléaires sur le sol américain et dans le pacifique.



Exposition « Atomes pour la paix », Palais des nations, septembre 1958

Des collégiens regardent un film au pavillon britannique sur le fonctionnement d'un réacteur thermique, un des nombreux films projetés en 4 langues. Cette exposition fera le tour du monde.



L'AIEA, l'agence de promotion de l'industrie nucléaire civile

Nous reviendrons en fin
de journée sur le lobby
nucléaire et le rôle
ambigu de l'AIEA



FORMATION CONTINUE DES ENSEIGNANTS EN GÉOGRAPHIE DU CYCLE D'ORIENTATION
SUR LA THÉMATIQUE DU NUCLÉAIRE

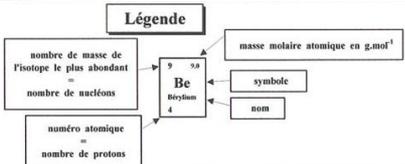
L'uranium, du minerais au combustible

Walter Wildi



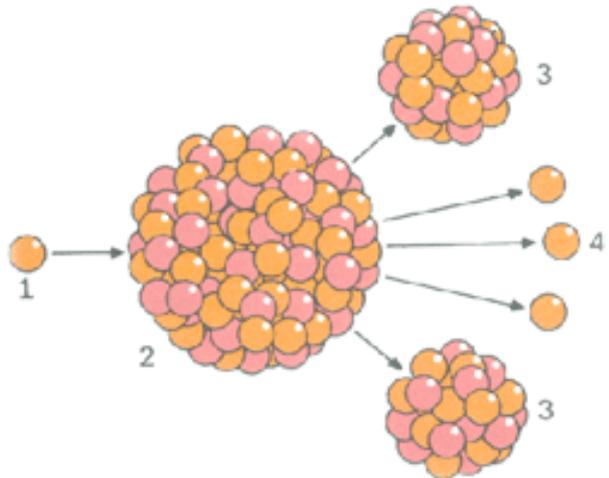
FACULTE DES SCIENCES, UNIVERSITE DE GENEVE
Section des sciences de la Terre et de l'environnement
Institut F.A. Forel
Institut des sciences de l'environnement

Période	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	
1 couche K	1 H Hydrogène	2 He Hélium																	4 He Hélium
2 couche L	3 Li Lithium	4 Be Béryllium											11 B Bore	12 C Carbone	13 N Azote	14 O Oxygène	15 F Fluor	16 Ne Neon	
3 couche M	5 Na Sodium	6 Mg Magnésium											13 Al Aluminium	14 Si Silicium	15 P Phosphore	16 S Soufre	17 Cl Chlore	18 Ar Argon	
4 couche N	9 K Potassium	10 Ca Calcium	11 Sc Scandium	12 Ti Titane	13 V Vanadium	14 Cr Chrome	15 Mn Manganèse	16 Fe Fer	17 Co Cobalt	18 Ni Nickel	19 Cu Cuivre	20 Zn Zinc	21 Ga Gallium	22 Ge Germanium	23 As Arsenic	24 Se Sélénium	25 Br Brome	26 Kr Krypton	
5 couche O	19 Rb Rubidium	20 Sr Strontium	21 Y Yttrium	22 Zr Zirconium	23 Nb Niobium	24 Mo Molybdène	25 Tc Technetium	26 Ru Ruthénium	27 Rh Rhodium	28 Pd Palladium	29 Ag Argent	30 Cd Cadmium	31 In Indium	32 Sn Étain	33 Sb Antimoine	34 Te Tellure	35 I Iode	36 Xe Xénon	
6 couche P	37 Cs Césium	38 Ba Baryum	39 La Lanthane	40 Ce Cérum	41 Pr Praseodyme	42 Nd Néodyme	43 Pm Prométhium	44 Sm Samarium	45 Eu Europium	46 Gd Gadolinium	47 Tb Terbium	48 Dy Dysprosium	49 Ho Holmium	50 Er Erbium	51 Tm Thulium	52 Yb Ytterbium	53 Lu Lutécium		
7 couche Q	55 Fr Francium	56 Ra Radium	57 Ac Actinium	58 Th Thorium	59 Pa Protactinium	60 U Uranium	61 Np Neptunium	62 Pu Plutonium	63 Am Américium	64 Cm Curium	65 Bk Berkélium	66 Cf Californium	67 Es Einsteinium	68 Fm Fermium	69 Md Mendelevium	70 No Nobelium	71 Lw Lawrencium		



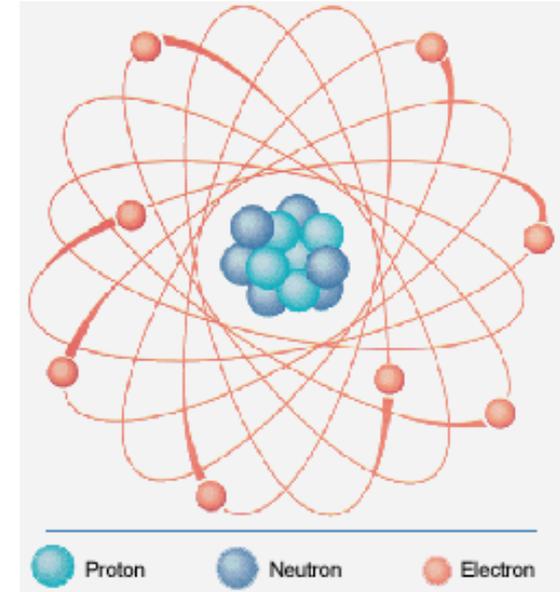
Hydrogène	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
Métaux vrais	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
Métaux de transition	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
"Métalloïdes"	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar		
Non métaux	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar			
Gaz rares	He	Ne	Ar	Kr	Xe	Rn										
Lanthanides	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
Transuraniens	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr				

92 U : élément radioactif



L'uranium, du minerais au combustible

L'élément Uranium



Représentation schématisée d'un atome

Fission : sous l'impact d'un neutron (1), le noyau d'uranium (2) se scinde en deux fragments (3) et libère deux ou trois neutrons (4)

L'uranium, du minerai au combustible

Isotopes naturels de l'Uranium

${}_{92}\text{U}$		Période
${}^{238}\text{U}$	99.27 %	4.5 Mia années
${}^{235}\text{U}$	0.72%	0.7 Mia années
${}^{234}\text{U}$	0.0056%	246'000 années

Densité: 19.1 g/cm³

Emetteurs: α , γ

Fréquence: env. 3 – 4 g/kg

1 g ${}_{92}\text{U}$ -> ${}^{238}\text{U}$ =0,99275 g soit 12346 Bq
 ${}^{235}\text{U}$ =0,00719 g soit 575 Bq
 ${}^{234}\text{U}$ =0,000057 g soit 13110 Bq

1 g d'Uranium 235...

fournit autant d'énergie que le combustible de 2,4 tonnes de charbon ou 1,6 tonne de pétrole.

Rayonnement:

Bq -> Bequerel:

Radiation correspondant à une désintégration radioactive par seconde

Réf.: www.laradioactivite.com

L'uranium, du minerai au combustible

Cycle de l'Uranium

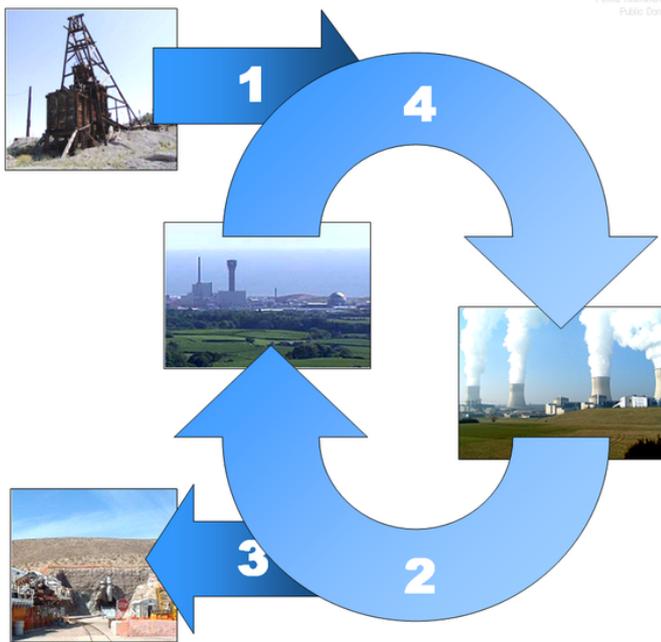
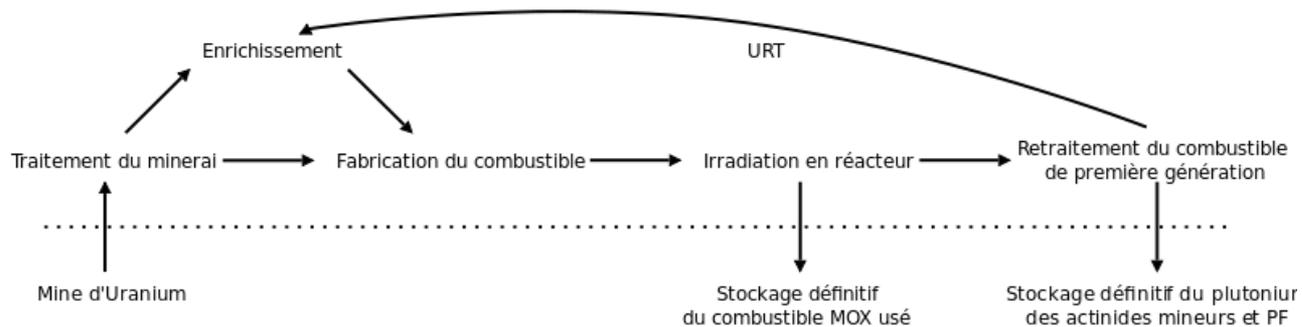


Schéma simplifié d'un cycle du combustible nucléaire :

- (1) extraction-enrichissement-fabrication
- (2) retraitement après usage
- (3) stockage ou
- (4) recyclage.



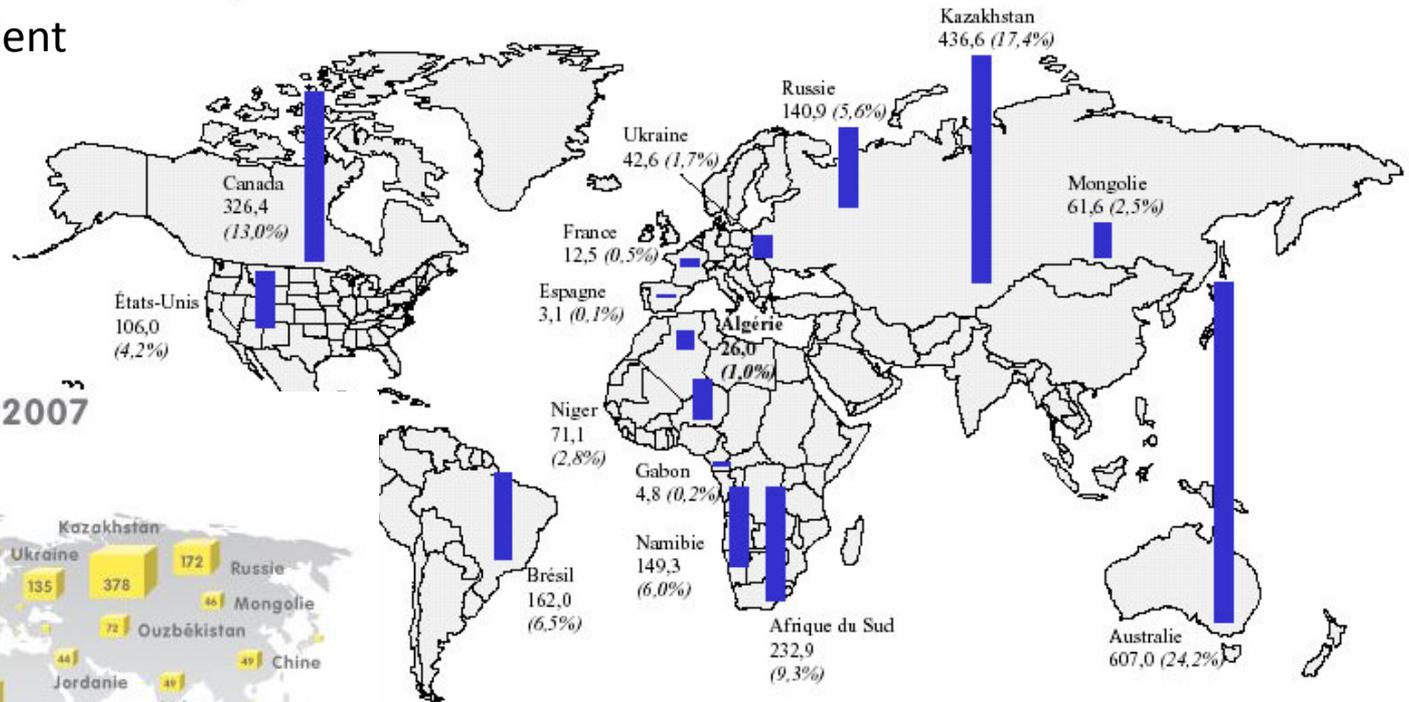
L'uranium, du minerai au combustible

Réerves d'Uranium

Réerves mondiales prouvées d'uranium* (1. 1. 1999)

Unité : Milliard de tep

1 tep = 1 t équivalent
de pétrole



Réerves d'uranium en 2007 (en milliers de tonnes d'uranium)

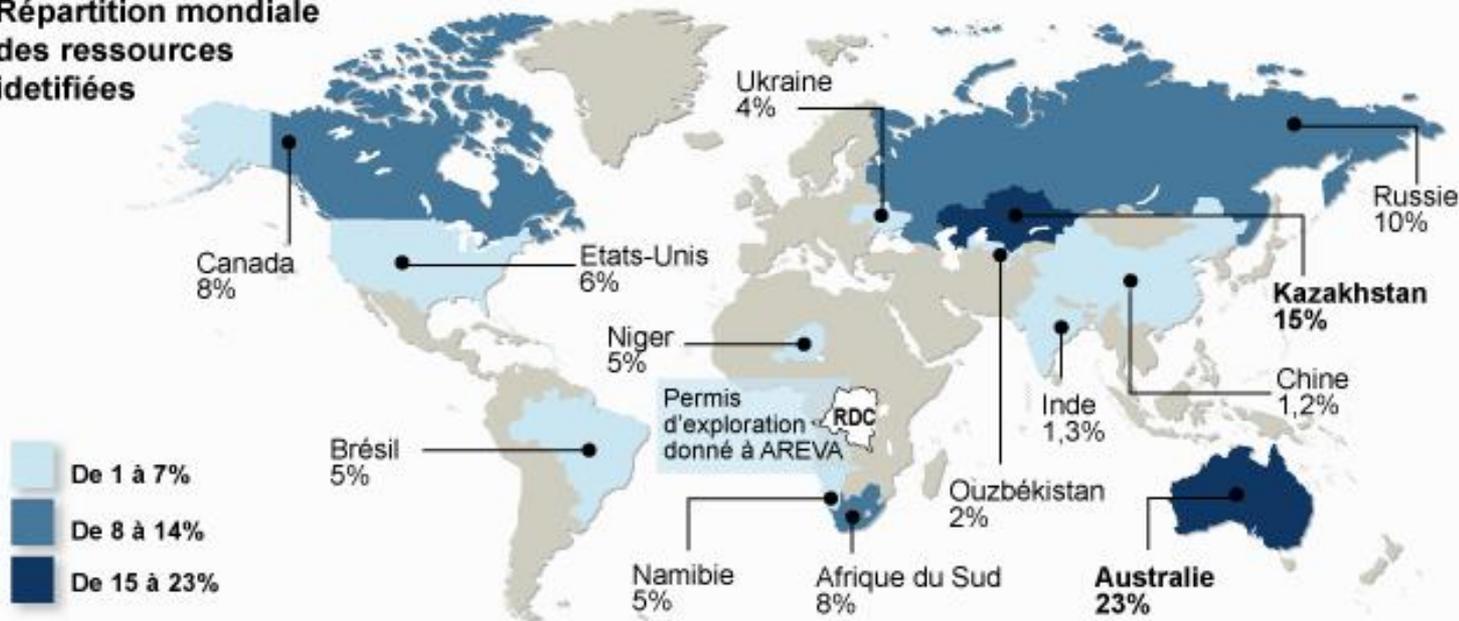


s de tonnes (hors Chili et Chine)
assurées récupérables à moins de 80\$/kg U
gie d'après CEA/DSE et AIE/OCDE

L'uranium, du minéral au combustible

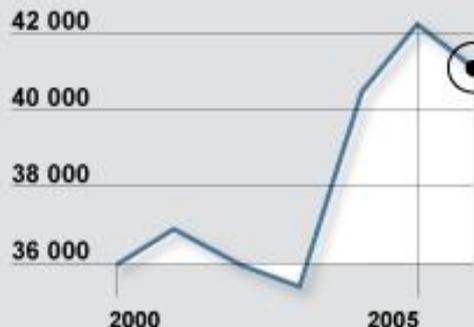
Mines d'Uranium et production

Répartition mondiale des ressources identifiées

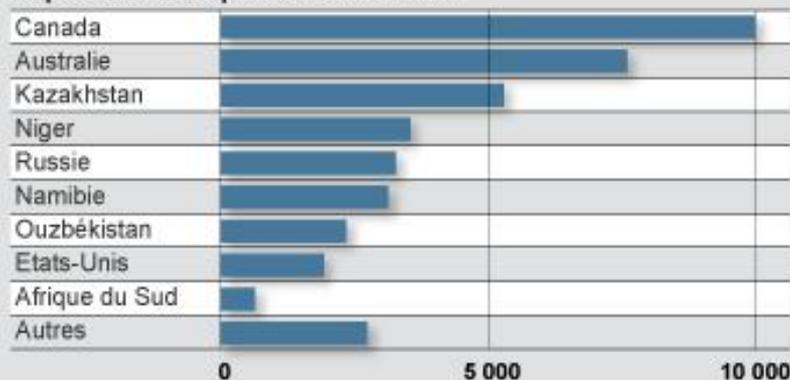


Production mondiale d'uranium

en tonnes par an



Répartition de la production en 2006



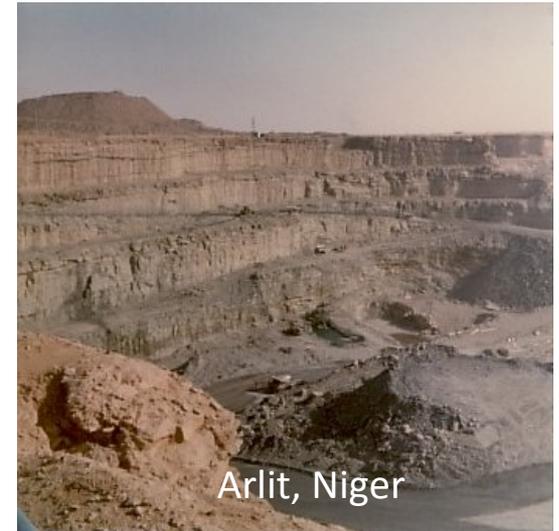
Source : Ocde/Aiea

L'uranium, du minerai au combustible

Extraction de l'Uranium

Extraction minière

1. Extraction du minerai par moyens mécaniques en galeries souterraines
2. Extraction par moyen mécaniques à ciel ouvert
3. Extraction par dissolution chimique
4. Extraction par co-production (ex. dans une mine d'Or, de Cuivre ou de Phosphates)



Yellowcake, Uranite:
octaoxyde de triuranium U_3O_8 .

Production du Yellowcake:

1. méthode acide : l'acide sulfurique H_2SO_4 chaud, additionné de chlorate de sodium $NaClO_3$,
2. méthode basique : carbonate de sodium Na_2CO_3 , de la chaux (oxyde de calcium CaO), de la sidérite (carbonate de fer $FeCO_3$) et de l'oxygène O_2 dans un autoclave à $140\text{ }^\circ\text{C}$ et une pression de 6 bars (600 kPa) (-> Wikipedia)

L'uranium, du minerai au combustible

Extraction de l'Uranium



Une usine d'Areva traitant l'uranium au Niger, le 26 septembre 2010
(ISSOUF SANOGO / AFP)



Le site minier d'Arlit exploité par Areva au Niger, attaqué par Aqmi le 16 septembre 2010. Quatre otages français sont toujours détenus. © Issouf Sanogo / AFP

L'uranium, du minerai au combustible

Enrichissement de l'Uranium

L'enrichissement augmente la teneur de l'uranium naturel en isotope U235, seul capable de libérer de l'énergie par fission, la faisant passer d'environ 0,7 % à 3 à 5 % après enrichissement.

Enrichissement par diffusion gazeuse: Le principe

L'enrichissement par diffusion gazeuse consiste à pousser l'UF₆ gazeux vers une cascade de barrières poreuses.

Les molécules gazeuses sont constamment en mouvement et viennent heurter les parois de l'enceinte dans laquelle elles sont confinées. Les molécules U₂₃₅ de l'UF₆ gazeux plus légères se déplacent plus vite et frapperont la paroi plus souvent qu'une molécule U₂₃₈ d'UF₆ plus lourde. Si cette paroi est poreuse, les molécules les plus légères traverseront la paroi plus souvent que les molécules les plus lourdes et le gaz s'enrichira en U₂₃₅.

Enrichissement par centrifugation

Lors de la centrifugation, l'UF₆ gazeux est introduit dans un cylindre allongé qui tourne à très haute vitesse, sous vide, dans un carter étanche.

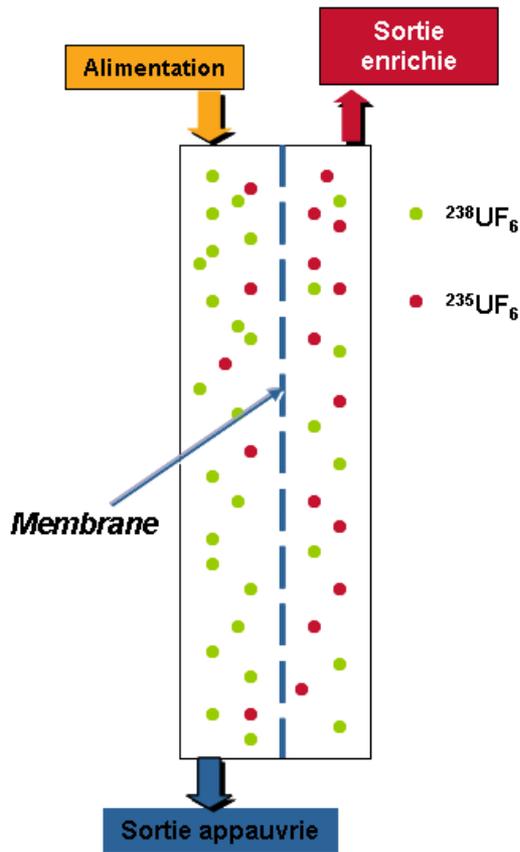
Par l'effet de la force centrifuge :

le gaz contenant les molécules U₂₃₅ plus légères reste concentré vers le centre du cylindre et monte vers le haut de la machine, le gaz contenant les molécules U₂₃₈ plus lourdes est projeté vers les parois du cylindre et descend, les produits enrichis et appauvris sont récupérés respectivement en haut et en bas du cylindre. Comme pour la diffusion gazeuse, le coefficient unitaire d'enrichissement étant très petit, le processus doit être reproduit plusieurs fois pour atteindre la teneur en uranium 235 demandée par les clients.

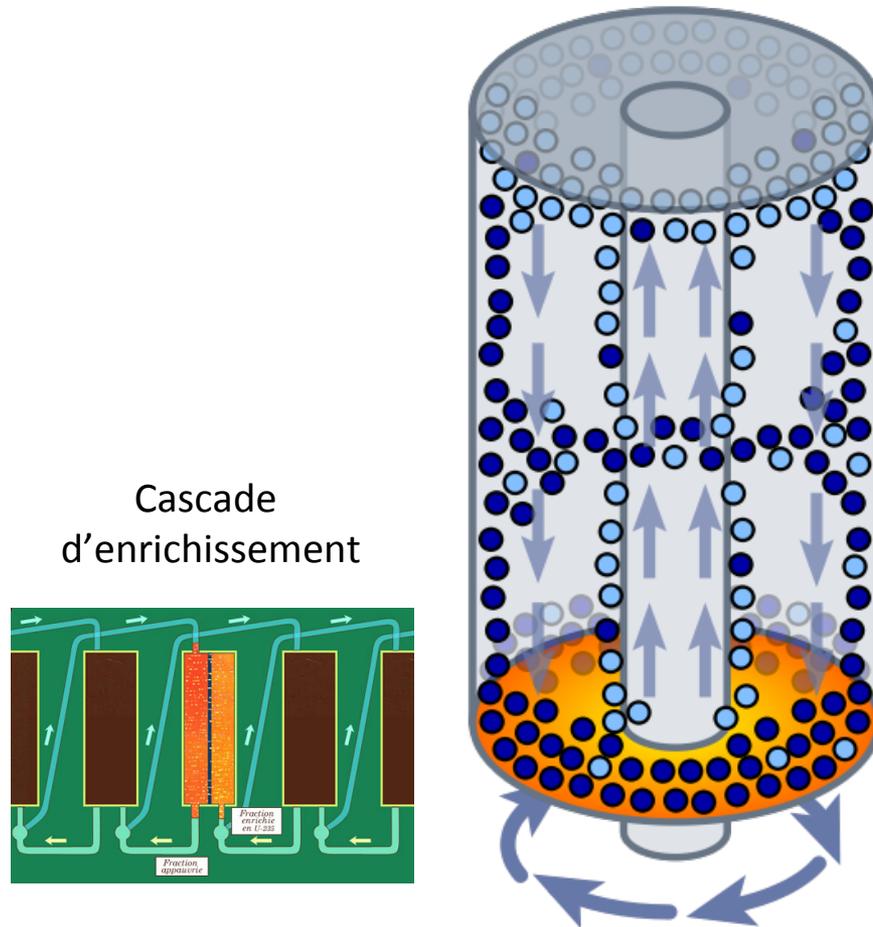
L'uranium, du minéral au combustible

Enrichissement de l'Uranium

Enrichissement par diffusion gazeuse:

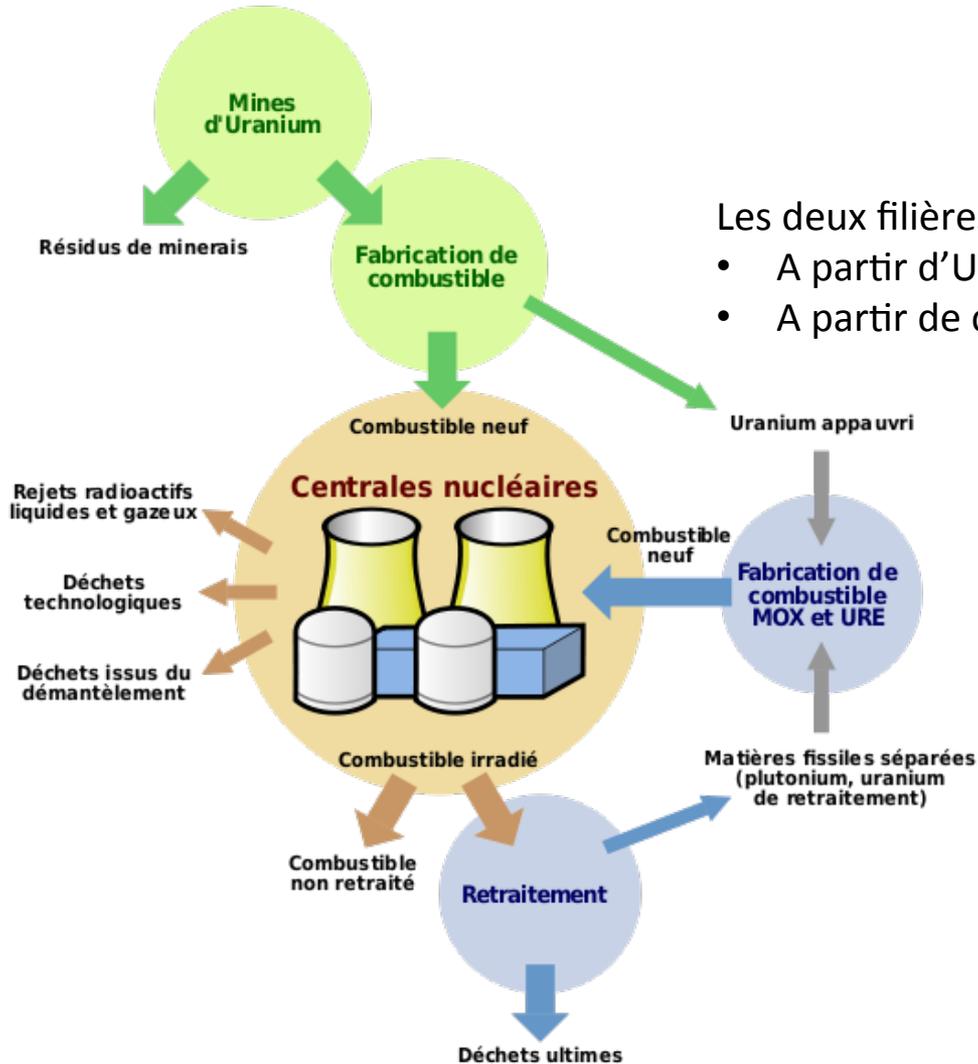


Enrichissement par centrifugation:



L'uranium, du minerai au combustible

Production du combustible nucléaire



Les deux filières de production de combustible:

- A partir d'Uranium enrichi
- A partir de combustible retraité

Wikipedia

L'uranium, du minerai au combustible

Production du combustible nucléaire

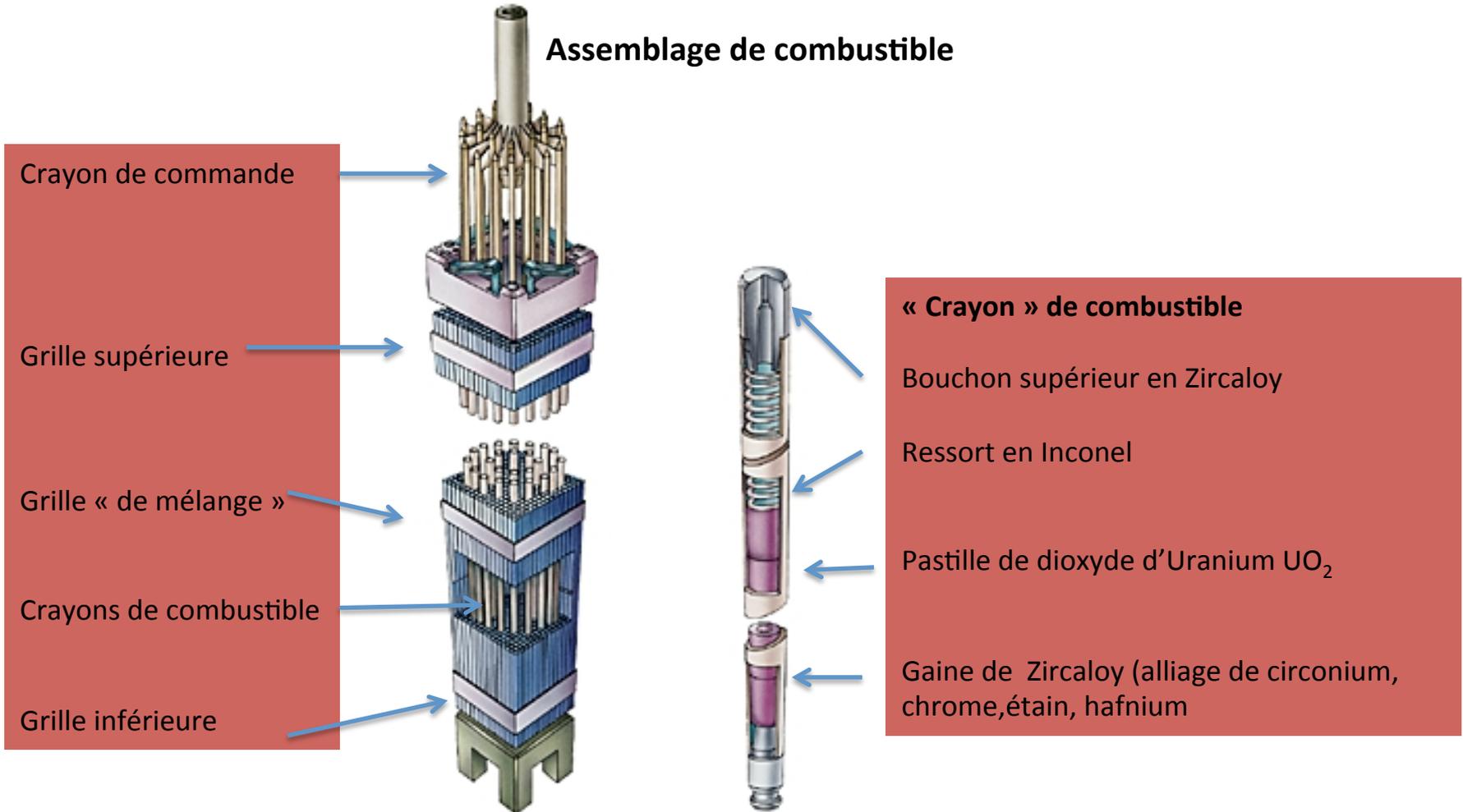
Après enrichissement, l'hexafluorure d'uranium est converti en oxyde d'uranium sous la forme d'une poudre noire. Celle-ci est comprimée puis frittée (cuite au four) pour donner des petits cylindres d'environ 1 cm de long et gros comme des petits morceaux de craie, appelés « pastilles ». Chaque pastille, qui ne pèse que 7 g, peut libérer autant d'énergie qu'une tonne de charbon (1 million de grammes). Les pastilles sont enfilées dans de longs tubes métalliques de 4 m de long en alliage de zirconium, les « gaines », dont les extrémités sont bouchées de manière étanche pour constituer les « crayons » de combustible. Pour une centrale, plus de 40 000 crayons sont préparés pour être rassemblés en « faisceaux » de section carrée, appelés assemblage du combustible.

<http://www.connaissancedesenergies.org>

L'uranium, du minerai au combustible

Production du combustible nucléaire

Assemblage de combustible





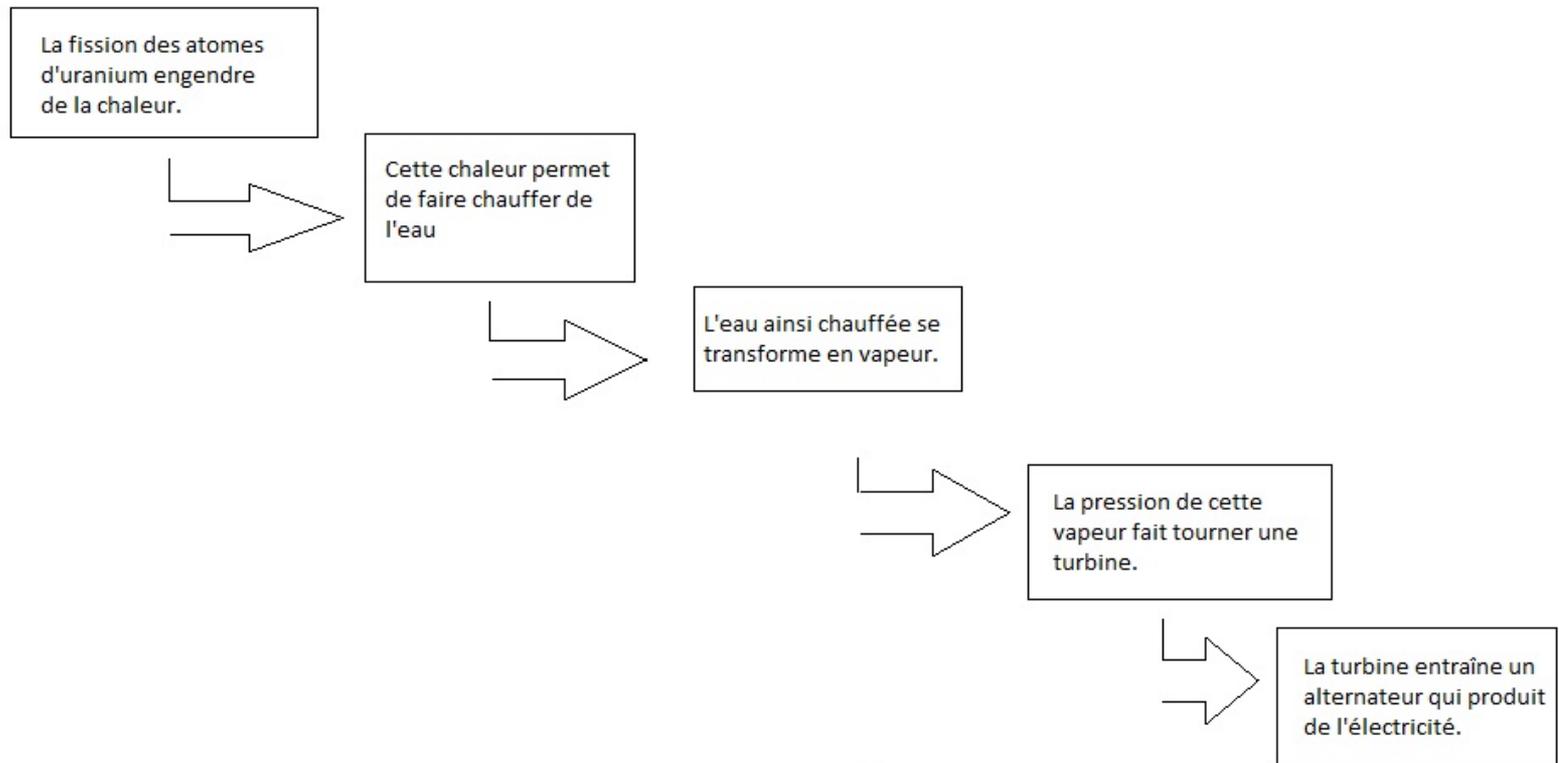
Fonctionnement d'une centrale nucléaire

Présentation : Anouk Zosso

Member of the European Environmental Bureau and of the Climate Action Network Europe (CAN –E)

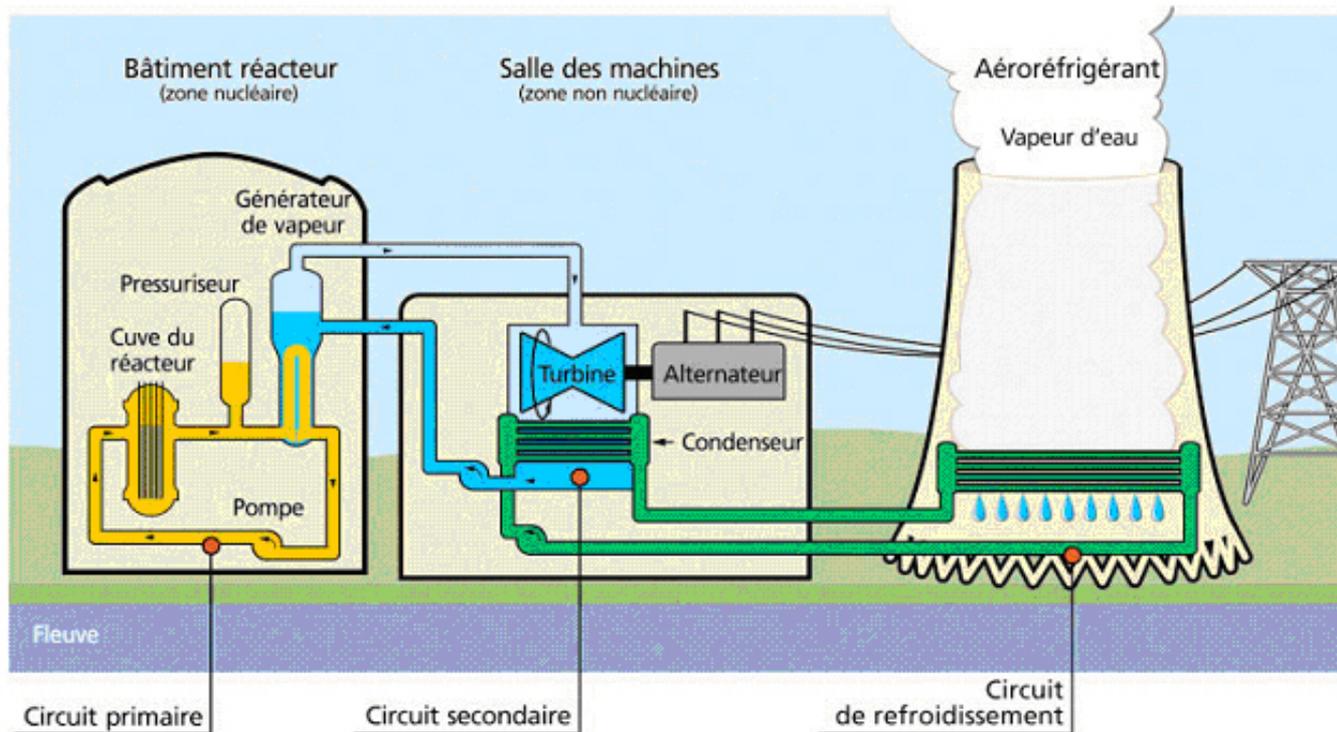
Accredited by the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)

Noé21 - Quai Charles Page 19 - 1205 Geneva – Switzerland - Tel : +41 22 329 51 36 - www.noé21.org - info@noé21.org

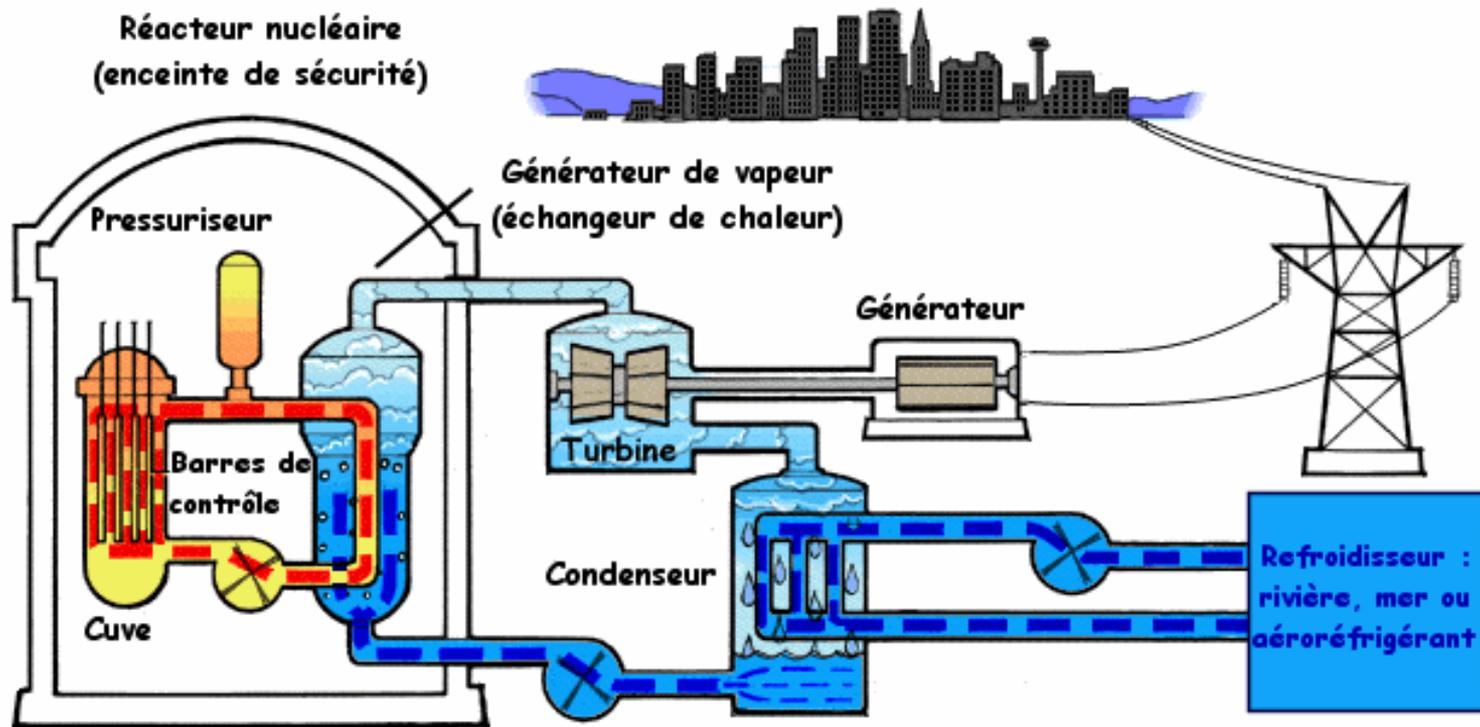


SCHEMA SIMPLIFIE DU FONCTIONNEMENT D'UNE CENTRALE NUCLEAIRE.

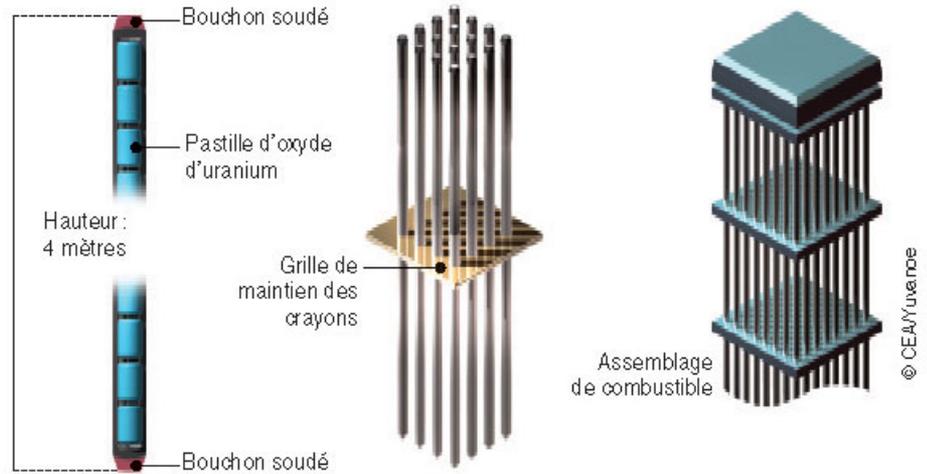
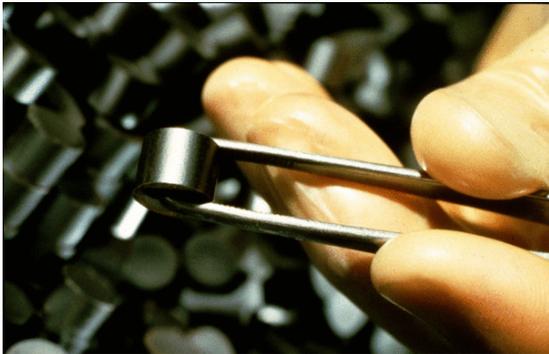
Centrale avec aéroréfrigérant



Centrale sans aéroréfrigérant

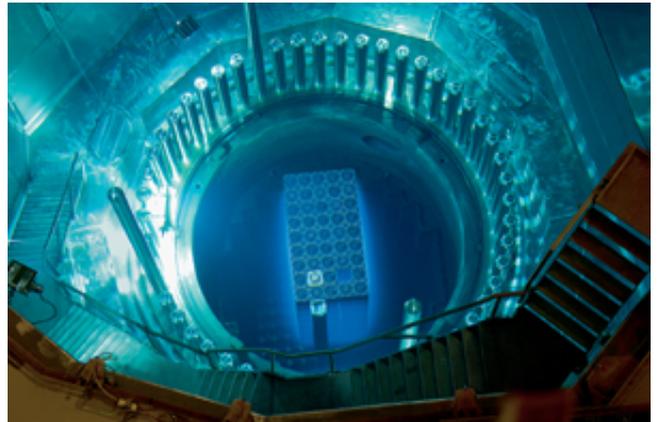
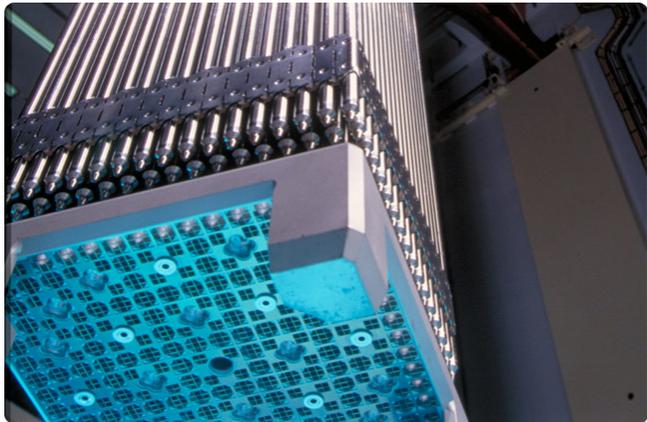
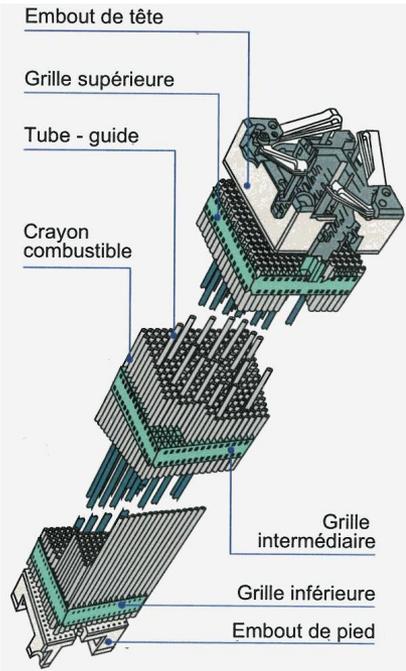


La préparation des assemblages de combustible



CRAYON DE COMBUSTIBLE

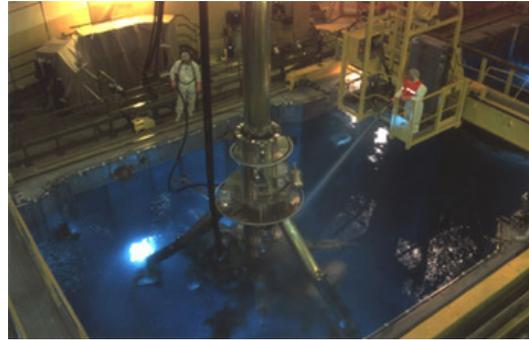
<http://www.lp2i-poitiers.fr>



Salle de commande



**Inspection par robot MIS
de la cuve du réacteur**



**Bâtiment réacteur de la
centrale de Beznau**



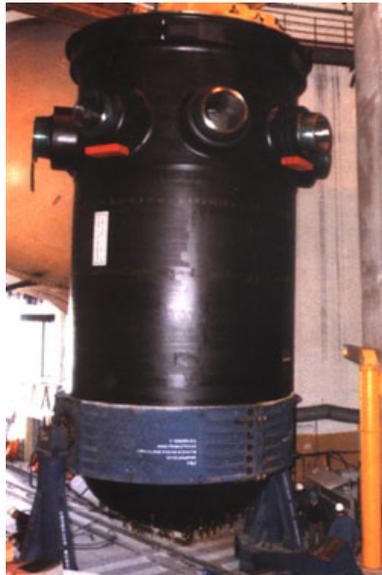
Générateur de vapeur



Les groupes turbo-alternateurs



<http://www.sfen.org/>



Cuve de réacteur



**Réfrigérants atmosphériques
de la centrale de Gösgen**

FORMATION CONTINUE DES ENSEIGNANTS EN GÉOGRAPHIE DU CYCLE D'ORIENTATION
SUR LA THÉMATIQUE DU NUCLÉAIRE

Le concept de sécurité nucléaire

Walter Wildi



FACULTE DES SCIENCES, UNIVERSITE DE GENEVE
Section des sciences de la Terre et de l'environnement
Institut F.A. Forel
Institut des sciences de l'environnement

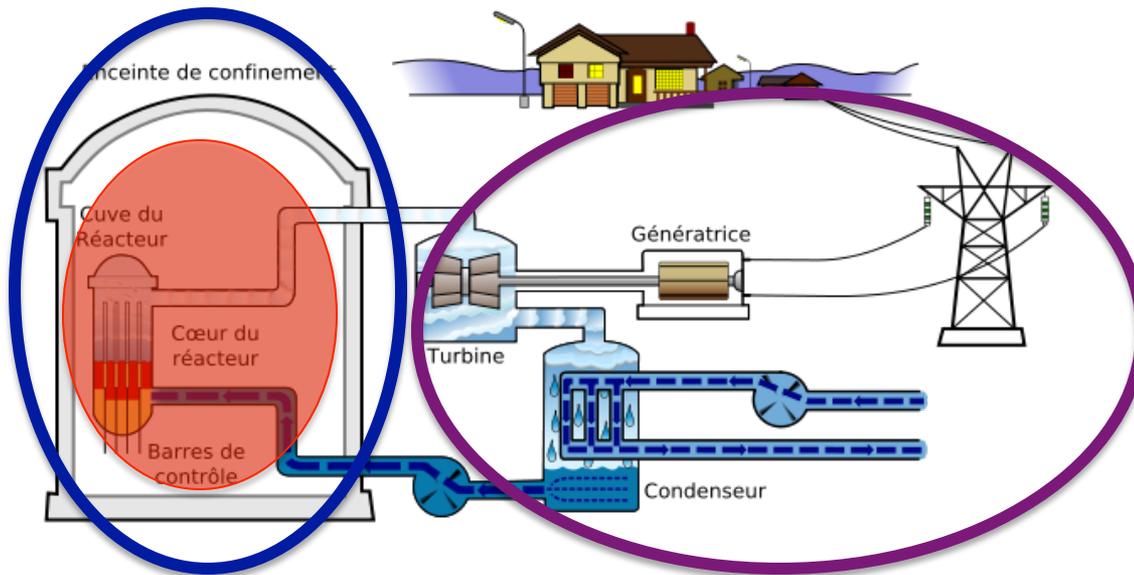
Le concept de sécurité nucléaire

Une centrale nucléaire c'est . . .

Mesures de sûreté nucléaire
(protection contre le risque)

Réacteur: source de risque

Usine:
Centrale thermique



Réacteur à ébullition (ou: à eau bouillante)

Wikipedia

EPR: European pressure water reactor

<http://www.frenergie.ch/Infos/frenews70.html>

Réacteurs à eau légère; combustible: Uranium, MOX

Le concept de sécurité nucléaire

La **sûreté nucléaire** est un terme définissant l'ensemble des paramètres ayant trait au maintien de l'intégrité des mécanismes, processus, outils ou instruments contenant de la matière radioactive, permettant de **garantir l'absence d'effets dommageables sur les individus et l'environnement.**

Mesures de sûreté nucléaire

- **Conception:** adaptation aux conditions de site (sismicité, crues . . .), système d'exploitation, concept multibarrières, redondance et diversité, etc.
- **Régulation (lois, directives),** culture de sécurité et exploitation dans un esprit autocritique
- **Surveillance** (inspections), « surveillance à double commande »
- **Examens périodiques**

Le concept de sécurité nucléaire

En cas d'incident ou d'accident Protections et mesures d'intervention

- **Multibarrières:** Protection par les gaines de combustible (condition: refroidissement fonctionne), cuve de pression du réacteur, enceintes de sécurité, etc.
- **Mesures techniques:** Groupes électrogènes, pompes de refroidissement, recombineurs d'hydrogène, « venting » (ventilation des gaz), pilotage depuis une salle de commande protégée etc.
- **Organisation d'urgence en cas d'accident:** Système d'alerte, application de mesures de protection (distribution de tablettes de Iode, évacuation, limitation de la consommation de produits frais), etc.

Le concept de sécurité nucléaire

Conditions d'autorisation en Suisse

732.11

Ordonnance sur l'énergie nucléaire (OENu)

Art. 24 Demande d'autorisation de construire

1 Quiconque requiert une autorisation de construire doit démontrer:

a.

b. en outre, pour la construction d'une nouvelle centrale nucléaire, que la fréquence moyenne des dommages au coeur en cas de défaillance au sens de l'art. 8 ne dépasse pas 10^{-5} par année;

Le concept de sécurité nucléaire

Bilan des fusions de cœurs de réacteurs 1970-2011 (global)

- *Réacteurs commerciaux connectés au réseau (après Fukushima): 435*
- *Fusions de cœurs 1970 – 2011: 5 (TMI, Tchernobyl, 3 x Fukushima)*
- *= 1 fusion de réacteur tous les 8 ans*
- *= 3×10^{-4} à 5×10^{-4} fusions par réacteur et par année**

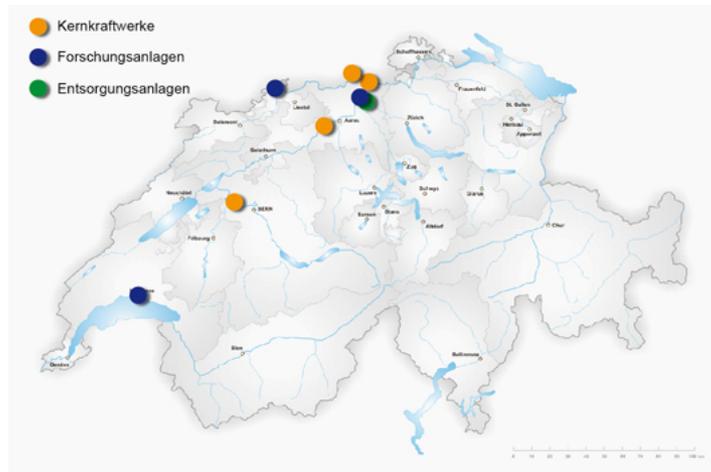
**Calcul soit sur la base de 16'000 années d'exploitation (estimation en tenant compte des réacteurs arrêtés) ou sur la base de 435 réacteurs (nombre actuel)*

Rappel loi suisse: la fréquence moyenne des dommages au coeur en cas de défaillance ne dépasse pas 10^{-5} par année . . .

Problèmes Suisses de sécurité nucléaire

a) Sécurité des centrales vieillissantes

- *Vieillessement des centrales suisses (p.p. plus âgées que Fukushima): Inspections et tests par « beau temps ». Fissures dans le manteau du cœur du réacteur à Mühleberg.*
- *Manque de fiabilité des systèmes techniques d'intervention en cas d'accident: ex. pannes répétées des génératrices et de certaines pompes, alimentation des bassins de refroidissement.*
- *Technologie obsolète (années 1950-1960): difficulté de remplacer*



1969: Benznau 1, PWR
1971: Benznau 2, PWR
1972: Mühleberg, BWR
1979: Gösgen, PWR
1984: Leibstadt, BWR

Problèmes Suisses de sécurité nucléaire

b) Affaiblissement des autorités de sûreté nucléaires

Jusqu'en 2007:

- *HSK/DSN (partie de l'OFEN, env. 160 collaborateurs): Surveillance des centrales, inspections + autres*
- *KSA/CSA (Comm. féd. sécurité des installations nucléaires, 13 membres + 3 secrétaires scientifiques):*
 - *Prises de position*
 - *Rapports concernant des questions fondamentales de sûreté nucléaire*
 - ***Observation des centrales nucléaires***
 - ***Prise de position concernant la surveillance effectuée par HSK/DSN***
 - *Rapport annuel au Conseil Fédéral*



2^{ème} avis, surveillance

Problèmes Suisses de sécurité nucléaire

b) Affaiblissement des autorités de sûreté nucléaires

Depuis 2008 (CSN), resp. 2009 (ENSI):

- *ENSI/IFSN (3^{ème} cercle de l'administration fédérale, env. 160 collaborateurs + Conseil de l'ENSI): Surveillance des centrales + autres*
- *KNS/CSN (Comm. féd. de sécurité nucléaire, 7 membres + 2 secrétaires scientifiques):*
 - *Prises de position*
 - *Rapport annuel au Conseil Fédéral*
 - *Autres travaux si disponibilité de temps et de moyens*

Problèmes Suisses de sécurité nucléaire

c) Perte de compétences: (Perte de formation, «mort de la recherche»)

Collaborateurs: Génie nucléaire ETHZ < - >

Institut Forel UNIGE
Sciences de l'environnement
>70 collaborateurs

2012: 12 collaborateurs salariés

Prof. Horst-Michael Prasser
Kerenyi, Nora
Adams, Robert
Damsohn, Manuel
D'Aleo, Francesco Paolo
Eismann Fry, Ralph
Ito, Daisuke, Dr.
John Kickhofel
Ritterath, Martin

Hilfsassistenten

Voser, Pascal
Wilhelm, Daniel
Tiwari, Rashmita

Liste des collaborateurs "Forel 2012"

Liste des collaborateurs "Forel 2012"

C

Courriel des collaborateurs UNIGE: prenom.nom@unige.ch

N

Nom, prénom	Groupe	
A ALLENBACH Karine	SPACE – GRID	
A AI QADI Amjad	Archéologie préhistorique et anthropologie	022 379
A ANASTASSOV Jordan	Archéologie préhistorique et anthropologie	022 379
A ANDOSILLA Marisa	Archéologie préhistorique et anthropologie	022 379
A ARIZTEGUI Daniel	Limnologie et géologie de l'environnement	022 379
A ARPAGAUS Philippe	Limnologie / Biogéochimie et d'écotoxicologie	022 379
B AUDERSET JOYE Dominique	Ecologie et biologie aquatique	022 379 04 87
B BAERISWYL BEUCHAT Alexandra	Limnologie / Biogéochimie et d'écotoxicologie	
B BGUIN Olga	Ecologie et biologie aquatique	
B BENISTON Martin	Climatologie	022 379 07 69
B BESSE Marie	Archéologie préhistorique et anthropologie	022 379
B BOEZIO Géraldine	SPACE - GRID	022 917 87 69
B BOISSEZON REY Aurélie	Ecologie et biologie aquatique	022 379 04 88
C BUARD Jean-Francois	Archéologie préhistorique et anthropologie	022 379
C CABRERA Daniel	Energie	022 379 06 49
C CALAME Pauline	Energie	022 379 06 43
C CARNAL Fabrice	Chimie environnementale	022 379 03 41
C CASTELLA Emmanuel	Ecologie et biologie aquatique	022 379 04 85
C CHELONI Giulia	Biogéochimie et d'écotoxicologie aquatique	022 379
C CHIQUET Patricia	Archéologie préhistorique et anthropologie	022 379
C CORBOUD Pierre	Archéologie préhistorique et anthropologie	022 379
C CORELLA Juan Pablo	Limnologie et géologie de l'environnement	
C COSIO Claudia	Biogéochimie et d'écotoxicologie aquatique	022 379
C COULON Jean	Archéologie préhistorique et anthropologie	022 379
C CRIVELLI Caroline	Archéologie préhistorique et anthropologie	022 379
D DAVID-EL BIALI Mireille	Archéologie préhistorique et anthropologie	022 379
D DEGLI AGOSTI Robert	Biologiste	022 379 07 65

c) Perte de compétences: (Perte de formation, «mort de la recherche»)

Publications 2010: Génie nucléaire ETHZ < - > Sciences de l'environnement UNIGE
4 titres 69 titres

ETH - IET - LKE Publikationen

20.01.12 09:39



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

ETH Zürich- D-MAVT - IET-LKE - Forschung - Publikationen - 2010

2010

Frank, Th.; Lifante, C.; Prasser, H.-M., Menter, F.: Simulation of turbulent and thermal mixing in T-junctions using URANS and scale-resolving turbulence models in ANSYS CFX, Nuclear Engineering and Design 240 (2010)9, 2313-2328.

Kuhn, S.; Braillard, O.; Niceno, B.; Prasser, H.-M.: Computational study of conjugate heat transfer in T-junctions, Nuclear Engineering and Design 240 (2010)6, 1548-1557.

Belt, R.J.; Van't Westende, J.M.C.; Prasser, H.-M., Portela, L.M.: Time and spatially resolved measurements of interfacial waves in vertical annular flow, International Journal of Multiphase Flow 36 (2010)7, 570-587.

Walker, C.; Manera, A.; Niceno, B.; Simiano, M.; Prasser, H.-M.: Steady-state RANS-simulations of the mixing in a T-junction, Nuclear Engineering and Design 240 (2010) 2107-2115.

Damsohn, M.; Prasser, H.-M.: Experimental studies of the effect of functional spacers to annular flow in subchannels of a BWR fuel element, Nuclear Engineering and Design (2010) article in press

Liste commune des publications de l'Institut Forel 2010

UNIGE

Dès 2009, les publications des groupes de recherche de l'Institut sont regroupées et présentées par année.

2010

Alasonati, E., G. Lespes, S. Dubascoux and V.I. Slaveykova, 2010. Assessment of metal - extracellular polymeric substances interactions by asymmetrical flow field-flow fractionation coupled to inductively coupled plasma mass spectrometry. *Environ. Chem.*, Vol. 7(2) 215-223.

Alasonati, E., V.I. Slaveykova, H. Gallard, J-P. Croué and M. F. Benedetti, 2010. Characterization of the Colloidal Organic Matter from the Amazonian Basin by Asymmetrical Flow Field-Flow Fractionation and Size Exclusion Chromatography. *Water research*, Vol. 44, 223-231.
(doi:10.1016/j.watres.2009.09.010)

Auderset Joye, D., Schwarzer, A., Lachavanne, J.-B. et R. Juge, 2010. *Liste Rouge Characées.* /Liste Rouge des espèces menacées en Suisse/. *Edition 2010. L'environnement pratique / Listes rouges / gestion des espèces*. Editeurs: Office fédéral de l'environnement et Laboratoire d'Ecologie Aquatique de l'Université de Genève, Berne 2010, 84 pages.

Beniston, M., 2010. Impacts of climatic change on water and associated economic activities in the Swiss Alps. *Journal of Hydrology*.
(doi:10.1016/j.jhydrol.2010.06.046)

Benkert, A., Curdy, P., David-Elbiali, M., 2010. Sites de hauteur et contrôle du territoire aux âges des métaux dans la vallée du Rhône (Suisse /cantons du Valais et de Vaud). Actes du XIIe Colloque sur les Alpes dans l'Antiquité (Yenne / Savoie, 2-4 octobre 2009). *Bulletin d'Etudes Préhistoriques et Archéologiques Alpines* (Aoste), 21 : 171-191.

Besacier-Monbertrand A.L., Paillex A. & Castella E., 2010. Alien aquatic macroinvertebrates along the lateral dimension of a large floodplain. *Biological Invasions*, Vol. 12, N° 7, 2219-2231.

**FORMATION CONTINUE DES ENSEIGNANTS EN GÉOGRAPHIE DU CYCLE D'ORIENTATION
SUR LA THÉMATIQUE DU NUCLÉAIRE**

**Risques à moyen et long terme liés au stockage des
déchets nucléaires:**

Le cas de la Suisse

Walter Wildi



FACULTE DES SCIENCES, UNIVERSITE DE GENEVE
Section des sciences de la Terre et de l'environnement
Institut F.A. Forel
Institut des sciences de l'environnement

Table des matières

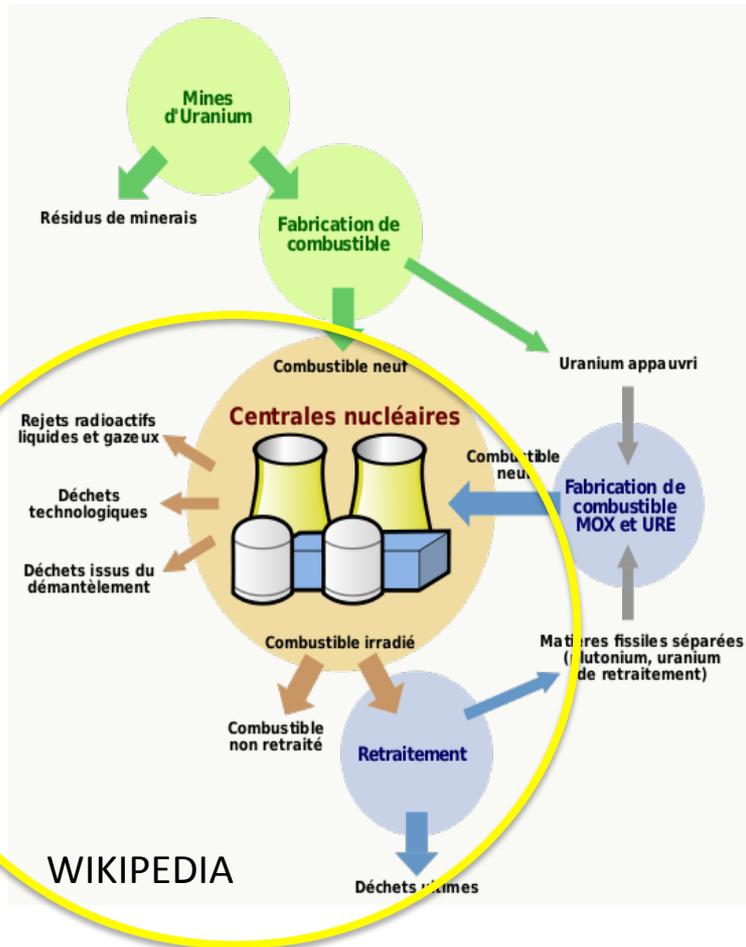
- 1. Introduction: Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse**
- 2. Périodes à considérer dans le cadre d'une analyse de risques**
- 3. Minimiser les risques : exemple des voies d'accès au dépôt géologique profond**
- 4. Conclusions**

1. Introduction : Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse*

***** (à la « sortie du nucléaire »)

1. Introduction: Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse

Centrales nucléaires suisses et déchets radioactifs:



PREVISIONS POUR UNE DUREE D'EXPLOITATION DE 50 ANS

DHA, combustible irradié et déchets vitrifiés	7'300 m ³
DFMA, exploitation et démantèlement des centrales	60'000 m ³
DFMA, industrie, médecine et recherche	33'000 m ³
TOTAL	ca. 100'000 m³

DHA = Déchets de haute radioactivité

DFMA = Déchets de faible et moyenne radioactivité

1. Introduction: Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse

Solutions envisagées pour l'élimination des déchets nucléaires:

- Immersion en mer, env. 1960 à 1982

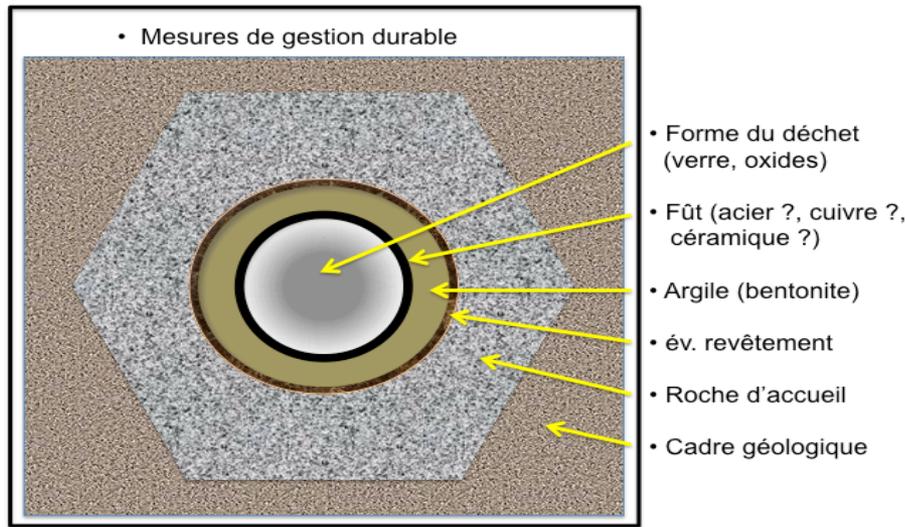
- Elimination dans l'espace (-> coût élevé, risque de rechute des porteurs)
- Enfouissement dans les sédiments océaniques (-> érosion par des courants marins)
- Elimination dans les zones de subduction (-> risque de volcanisme)
- Transmutation, transformation (-> actuellement au stade de la recherche)
- « Gardiennage en surface » (-> risques d'inondation, séisme, vieillissement, guerre, terrorisme . . .)
- et bien d'autres

1. Introduction: Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse

Le concept actuel des barrières multiples

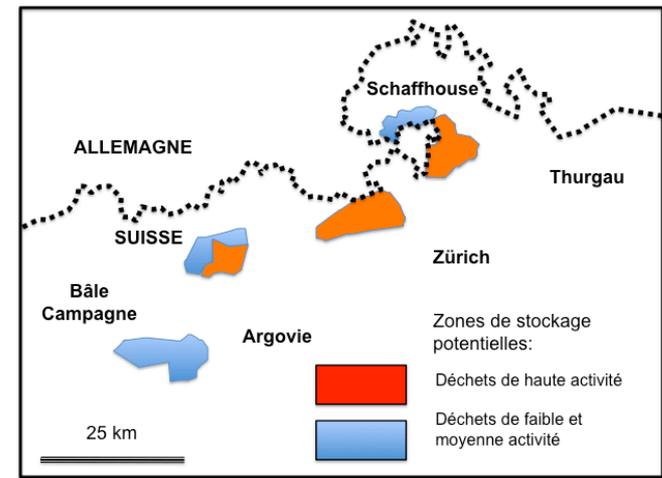
Isolation des déchets radioactifs par des barrières techniques et géologiques; mesures de gestion: application en Suisse

Concept des barrières multiples



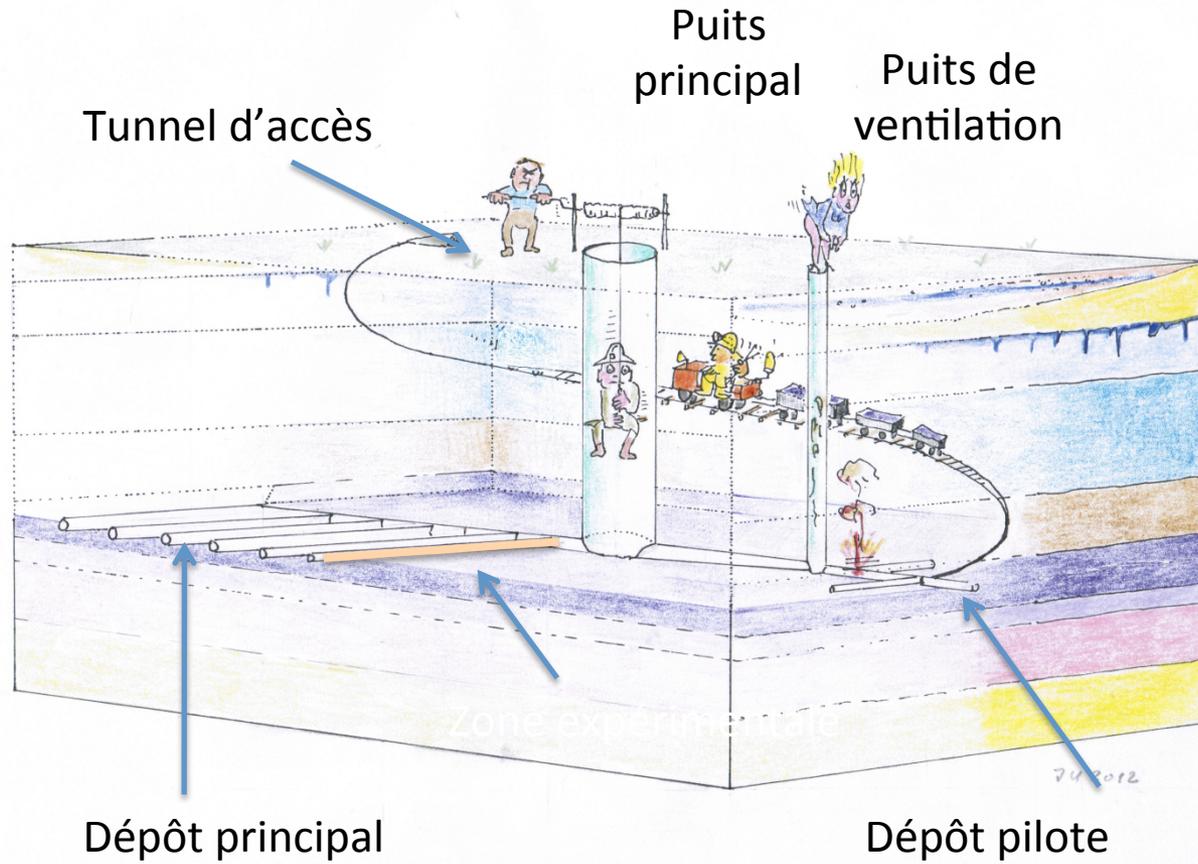
Modifié d'après EKRA 2000

Zones de stockage potentielles dans les Argiles à Opalinus

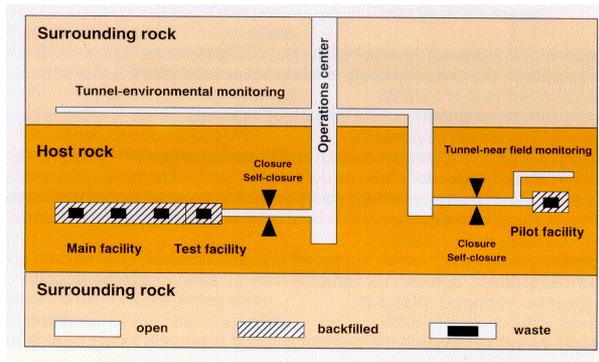


Modifié d'après NAGRA.ch

1. Introduction: Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse



- Installations de stockage



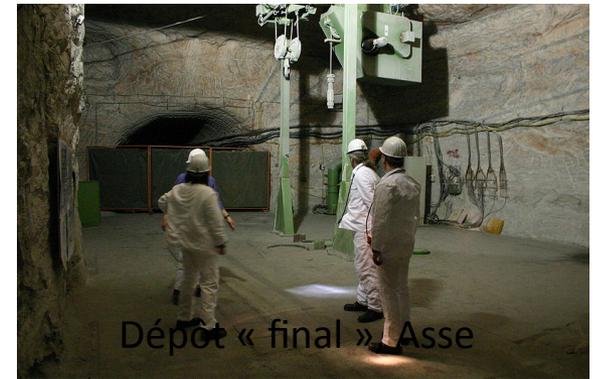
1. Introduction: Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse

Installations de stockage

Dépôt principal, cavernes de stockage : elles sont creusées dans la roche d'accueil (dans le NE de la Suisse : les Argiles à Opalinus) et reçoivent les déchets conditionnés et placés dans des fûts. Ces cavernes sont ensuite comblées par de la bentonite, un matériel argileux de provenance volcanique, qui peut absorber l'eau qui pénètre dans la caverne, qui gonfle à cette occasion et forme une barrière de très faible perméabilité contre la circulation d'eau (et éventuellement de gaz). Après leur comblement, les cavernes sont scellées. La Nagra (2008) prévoit l'installation d'un dépôt de déchets faiblement et moyennement actifs à 300 à 500 m et un dépôt de déchets hautement radioactifs à 400 à 900 m de profondeur.



1. Introduction: Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse

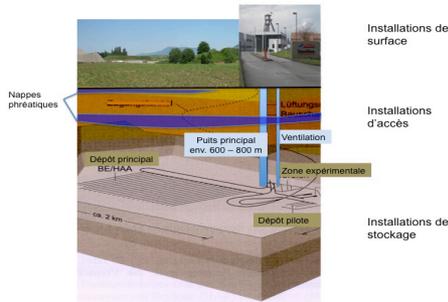


Installations de stockage

Dépôt principal, installations de service : elles permettent l'accueil et le transport des déchets et du matériel de comblement à l'intérieur de la mine.

La zone expérimentale, destinée à valider les paramètres de la roche d'accueil et les différentes mesures techniques nécessaires à la sécurité du dépôt. Cette zone constitue un laboratoire souterrain, équipé de différents instruments de mesure et de surveillance.

Le dépôt pilote, permet d'observer le comportement des déchets pendant une période plus ou moins longue (non déterminé par la loi), mais probablement d'au moins 150 – 200 ans. Ce dépôt reçoit une quantité représentative de déchets, stockés dans des cavernes équipées de senseurs ; il permet ainsi de suivre l'évolution du site et l'état des déchets, soit pour valider les modèles de sécurité, soit pour déterminer les conditions d'un retrait éventuel.



1. Introduction: Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse



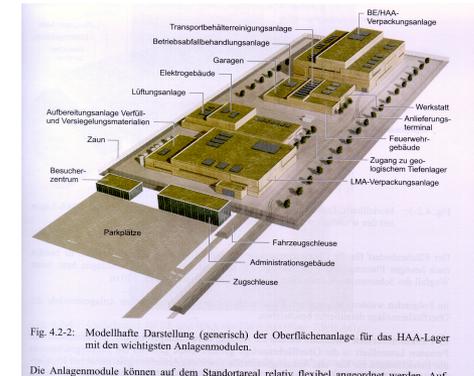
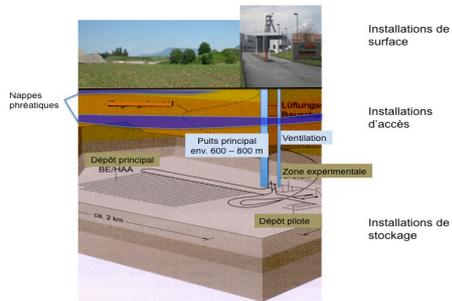
Installations d'accès et de ventilation

Les mines souterraines disposent obligatoirement de deux ouvertures ou accès vers la surface :

Un puits principal (ou éventuellement un tunnel d'accès), permettant l'évacuation des roches et des minerais dans le cas d'une exploitation, respectivement le transport des déchets et des matériaux de comblement dans le cas d'un site de stockage de déchets. Ce puits sert également à l'entrée de l'air de ventilation.

Un puits ou une galerie de ventilation, assurant l'extraction de l'air de ventilation et, en cas de feu, de la fumée.

1. Introduction: Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse



Installations de surface

destinées aux différents services de la mine et au transbordement des déchets du transport routier ou ferroviaire vers la mine. Le projet actuellement étudié par la Nagra prévoit par ailleurs des installations de conditionnement de déchets sur ce site (« hotlab »).

2. Périodes à considérer dans le cadre d'une analyse de risques

2. Périodes à considérer dans le cadre d'une analyse de risques

La phase de construction:

10 – 20 ans

Pendant cette phase on verra évoluer un grand chantier, semblable à un chantier de tunnel routier ou ferroviaire, avec les risques propres à ce genre d'opération et d'ouvrage. Aucune substance radioactive ne sera manipulée sur site et l'expérience existante permet de croire à une maîtrise des risques.

2. Périodes à considérer dans le cadre d'une analyse de risques

La phase d'exploitation (peu explorée!) 150 – 200 ans ?

- La zone expérimentale sera en fonction
- Le dispositif de surveillance du dépôt pilote sera actif.
- Les cavernes d'entreposage seront creusées au fur et à mesure, les déchets mis en place et les cavernes refermées.
- Les accès aux installations de service, à la zone expérimentale et au dépôt pilote seront ouverts et devront être consolidés et protégés contre l'intrusion d'eau. Cette exigence concerne donc les vides miniers creusés dans la roche d'accueil, les Argiles à Opalinus, dont la stabilité peut être considérée comme bonne dans un état sec, mais qui risquent d'être endommagés rapidement par l'eau, ou même de s'effondrer en cas d'inondation.
- A la fin de cette phase, soit les installations seront définitivement fermées et scellées pour le stockage final, soit les déchets seront récupérés et les installations comblées et fermées.

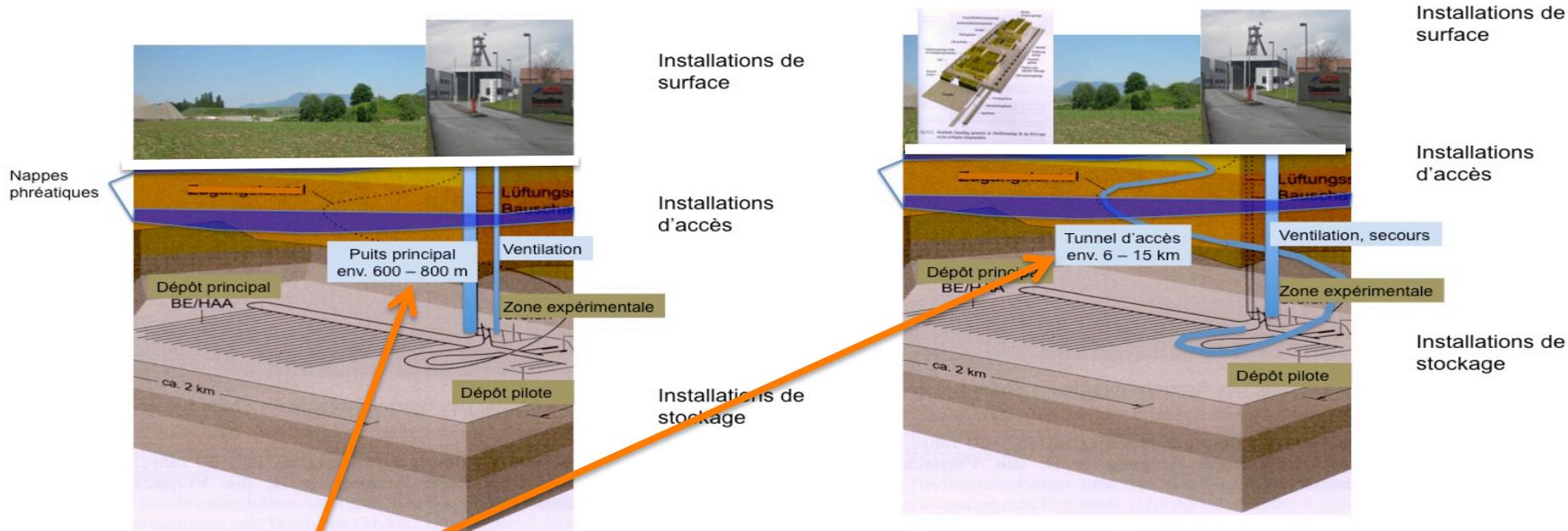
2. Périodes à considérer dans le cadre d'une analyse de risques

La phase de stockage final (bien étudiée) $10^3 - 10^6$ ans

-> soit la durée nécessaire à l'obtention d'un niveau suffisamment bas de la radioactivité des déchets. Pendant cette phase, l'eau contenue dans la roche d'accueil s'infiltrera dans le remplissage de bentonite des cavernes de stockage désormais fermées et entrera en contact avec les futs contenant les déchets nucléaires. En fonction des conditions chimiques et notamment de l'oxygène contenu dans le milieu souterrain, il est admis que la corrosion pourra attaquer les futs et mobiliser éventuellement des substances radioactives. Des modèles de flux ou de dispersion de ces substances à travers la roche d'accueil, puis de l'entourage géologique, permettent d'estimer l'exposition potentielle au rayonnement ionisant d'une population consommant l'eau et les produits agricoles locaux de la région entourant le dépôt profond.

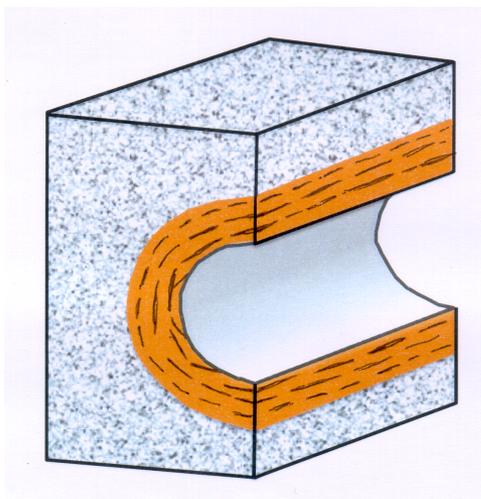
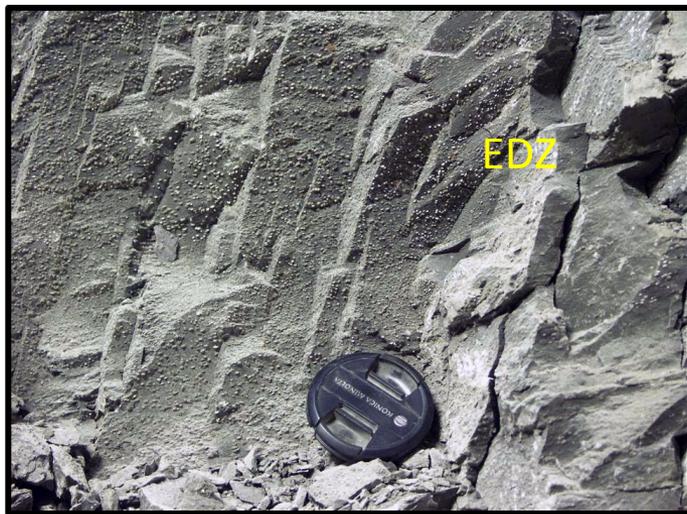
3. Minimiser les risques : exemple des voies d'accès au dépôt géologique profond

3. Minimiser les risques : exemple des voies d'accès au dépôt géologique profond



1. Les voies d'accès constituent des drains d'infiltration d'eau
 - Infiltration d'eau et risques d'inondation \pm proportionnels à la longueur de l'ouvrage

3. Minimiser les risques : exemple des voies d'accès au dépôt géologique profond



← Zone à microfractures
← EDZ

www.mont-terri.ch/

D'après NWMO DGR-TR-2011-21

1. Les voies d'accès constituent des drains d'infiltration d'eau
 - Infiltration d'eau et risques d'inondation \pm proportionnels à la longueur de l'ouvrage
 - Drainage par les EDZ (zones de perturbation due au creusement des cavernes) et les failles

3. Minimiser les risques : exemple des voies d'accès au dépôt géologique profond



Stockamine, Alsace:
effondrement d'une
galerie de stockage de
déchets chimiques



2. Les puits verticaux ont une espérance de vie supérieure à celle des cavernes horizontales

4. Conclusions

4. Conclusions

1. Le concept des multi-barrières en milieu continental est la stratégie d'élimination privilégiée à l'échelle globale pour le stockage des déchets nucléaires.
2. En Suisse, la sélection de sites est actuellement en cours dans le cadre du plan sectoriel "Dépôts en couches géologiques profondes". A ce propos, les conclusions suivantes peuvent être tirées :
 - a) L'analyse des risques du projet de stockage géologique se décline selon trois phases : phase de construction (env. une décennie), phase d'exploitation (env. 150 – 200 ans), phase de stockage (milliers à centaines de milliers d'années).
 - b) Les risques liés à la première phase sont comparables à ceux d'un grand chantier de génie civil conventionnel ; on peut les considérer comme gérable.
 - c) La troisième phase, la plus longue dans le cadre du projet de stockage, et c'est également la phase la plus étudiée.

5. Conclusions

- d) La phase d'exploitation est la moins étudiée et c'est elle qui comporte actuellement à priori les risques les moins maîtrisés : risques d'inondation et d'endommagement (écroulement) des installations ouvertes en cas d'accident ou de vieillissement des installations.
- e) Une optimisation de la conception des installations s'impose ; il s'agit avant tout de chercher les chemins les plus directs et les plus courts. La solution des puits répond mieux à cette exigence que celle de l'accès par un tunnel (une « rampe »).
- f) Plusieurs autres problèmes attendent une solution, parmi lesquels la minimisation de la matière organique dans les déchets de faible et moyenne radioactivité et la question du remplacement des fûts en aciers par d'autres matériaux pour les déchets de haute radioactivité.

**N'enfouissons jamais un problème dans un dépôt
„final“; il remontera vite en surface!**

Merci de votre attention

**FORMATION CONTINUE DES ENSEIGNANTS EN GÉOGRAPHIE DU CYCLE
D'ORIENTATION SUR LA THÉMATIQUE DU NUCLÉAIRE**

Accidents nucléaires

De Three Mile Island à Fukushima

Walter Wildi



FACULTE DES SCIENCES, UNIVERSITE DE GENEVE
Section des sciences de la Terre et de l'environnement
Institut F.A. Forel
Institut des sciences de l'environnement

FORMATION CONTINUE DES ENSEIGNANTS EN GÉOGRAPHIE DU CYCLE D'ORIENTATION
SUR LA THÉMATIQUE DU NUCLÉAIRE

Centrales nucléaires suisses

Walter Wildi



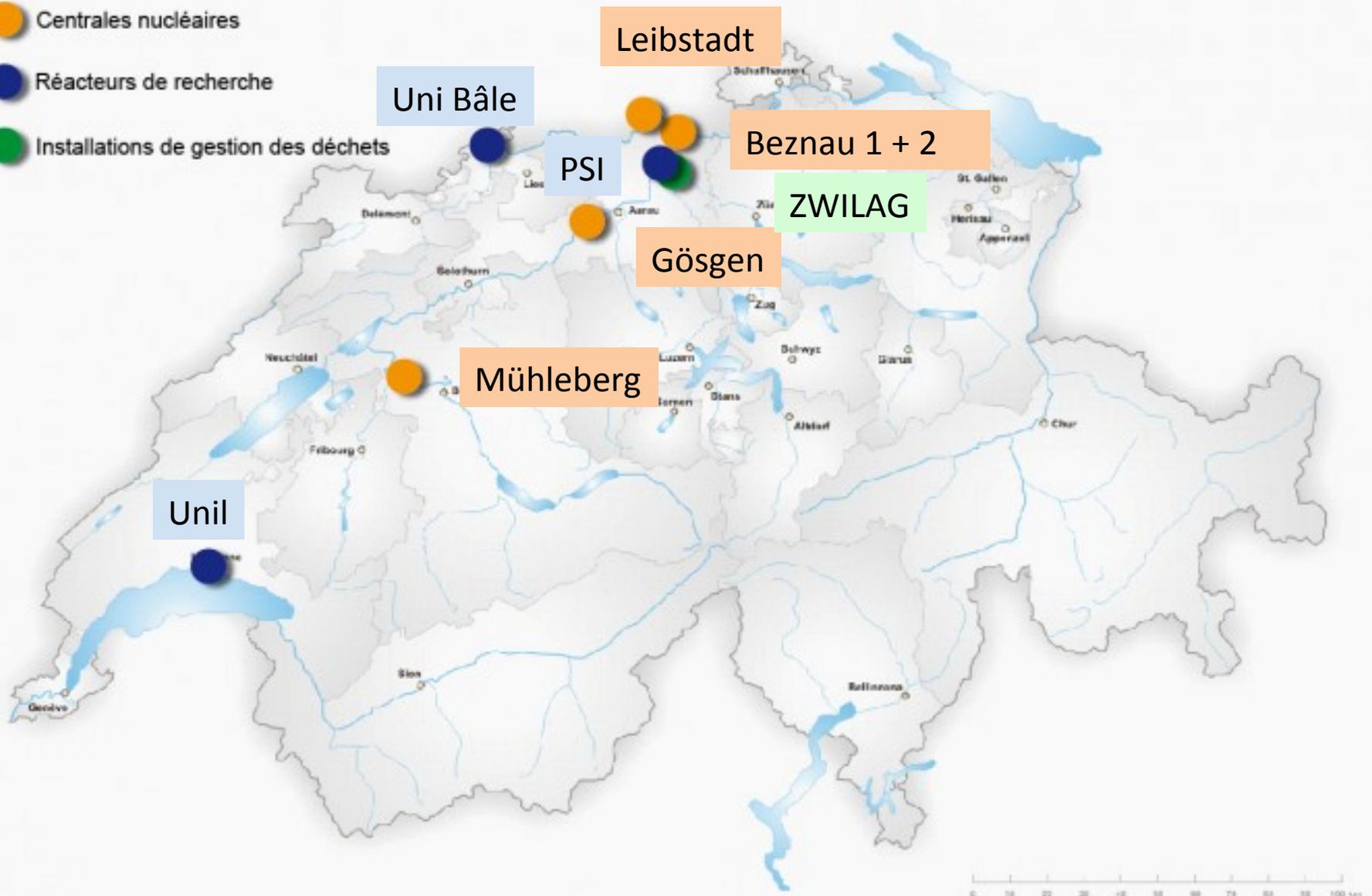
FACULTE DES SCIENCES, UNIVERSITE DE GENEVE
Section des sciences de la Terre et de l'environnement
Institut F.A. Forel
Institut des sciences de l'environnement

Installations nucléaires en Suisse

Centrales nucléaires

Réacteurs de recherche

Installations de gestion des déchets



Centrale nucléaire, Beznau 1 + 2

La centrale nucléaire de Beznau est la **plus ancienne centrale en activité au monde** depuis la fermeture de la centrale nucléaire d'Oldbury en février 2012, elle a été mise en service en 1969. Elle est la seule centrale nucléaire du pays à disposer de deux réacteurs, ces réacteurs sont du type à eau pressurisée (REP) :

Beznau 1 : 365 MW, mis en service en 1969 pour 40 ans (2009).

Beznau 2 : 365 MW, mis en service en 1971 pour 40 ans (2011).

Ces réacteurs sont de la société Westinghouse 2.

Leur puissance électrique a évolué au cours de l'exploitation :

350 MW jusqu'au 30 septembre 1996

357 MW jusqu'au 2 janvier 2000

365 MW depuis le 2 janvier 2000

Wikipedia



Centrale nucléaire Beznau 1 + 2

Dernier incident:

Beznau: défaillance lors du démarrage du générateur diesel de secours le 10 mai 2012

21 août 2012 – Lors de son test périodique de fonctionnement, le générateur diesel de secours de la tranche 2 de la centrale nucléaire de Beznau n'a pas démarré. Le dispositif a été démarré avec de l'air comprimé. Il ne s'est toutefois pas allumé.



Centrale nucléaire Mühleberg

Cette centrale produit de l'électricité qui est injectée dans le réseau de distribution suisse. Elle est exploitée par BKW FMB Energie SA (FMB). **Mise en service le 6 novembre 1972**, elle est la seconde centrale nucléaire à être exploitée dans le pays. Son réacteur à eau bouillante (**General Electric, Mark 1**) d'une puissance électrique de 335 MWe, en fait la plus petite centrale en termes de puissance. Depuis le début de son activité la puissance a été augmentée : 320 MWe de sa mise en service jusqu'au 23 mars 1993, 336 MWe jusqu'au 11 novembre 1993 et 335 MWe depuis le 11 novembre 1993.

Parmi les quatre centrales nucléaires de Suisse, celle de Mühleberg est la seule à être soumise à une **autorisation d'exploitation de durée limitée**. Cette autorisation date du 14 décembre 1992 et s'achève le 31 décembre 2012. Le 25 janvier 2005, BKW FMB Energie SA a déposé une demande pour obtenir une autorisation illimitée dans le temps. Le dossier a été soumis à enquête publique du 13 juin au 14 juillet 2008, il a fait l'objet de nombreuses oppositions. **En effet le manteau du cœur de la centrale est fissuré.**



Centrale nucléaire Mühleberg

Dernier incident:

Mühleberg : arrêt d'urgence du réacteur 10 février 2012 – Lors du branchement d'appareils de mesure pour l'enregistrement du comportement en service de la pompe alimentaire B, il s'est produit une mise à l'arrêt de cette pompe du fait d'une perturbation électrique intempestive sur les circuits de l'installation.

Fermeture:

Le 8 mars 2012, le Tribunal administratif fédéral a ordonné la fermeture de la centrale pour la fin-mai 2013, sauf si l'exploitant ne peut prouver sans doute la sûreté de son exploitation⁴. Les Forces motrices bernoises (BKW FMB Energie SA) et le Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC) ont fait recours contre ce jugement.

Risques majeurs:

- Manteau du réacteur fissuré
- Risque d'inondation (refroidissement incertain)
- Séisme: Barrage hydroélectrique vieillissant

Ensi.ch, Wikipedia



Centrale nucléaire de Gösgen

Réacteur nucléaire à **eau pressurisée Siemens (Kraftwerkunion)**, puissance nominale 1 035 MW (bruts). Mise en service: novembre 1979. 1^{ère} centrale suisse avec tour de refroidissement.

Dernier incident:

Centrale nucléaire de Gösgen : arrêt automatique du 30 juin 2012

29 janvier 2013 – La centrale nucléaire de Gösgen a commencé son redémarrage suivant la révision le 22 juin 2012. Alors qu'elle avait atteint une puissance de 95% le 30 juin 2012, un arrêt automatique du réacteur s'est produit. Cet arrêt peut être attribué au déclenchement intempestif de signaux de protection du réacteur.



Centrale nucléaire de Leibstadt

La centrale nucléaire de Leibstadt est la plus récente de Suisse, elle a été **mise en service le 15 décembre 1984**. Elle dispose d'un réacteur à eau bouillante GETSCO. La puissance électrique de ce dernier ayant évolué depuis sa mise en service augmentée à 1165 MW.

Derniers incidents:

Centrale nucléaire de Leibstadt: arrêt automatique des turbines

23 février 2011 – La défaillance d'une résistance sur une carte électronique a entraîné la panne d'un sous-ensemble du système de régulation de la turbine. L'incident a automatiquement entraîné la fermeture progressive des vannes de réglage de débit de la turbine basse pression

6 janvier 2011 – Lors d'un essai de fonctionnement du système d'aspersion HP du cœur de réacteur, il a été constaté la présence d'un microjet d'eau. Celui-ci s'échappait d'un cordon de soudure sur une petite conduite aboutissant à une soupape de sûreté.



« *Sortie du nucléaire* »

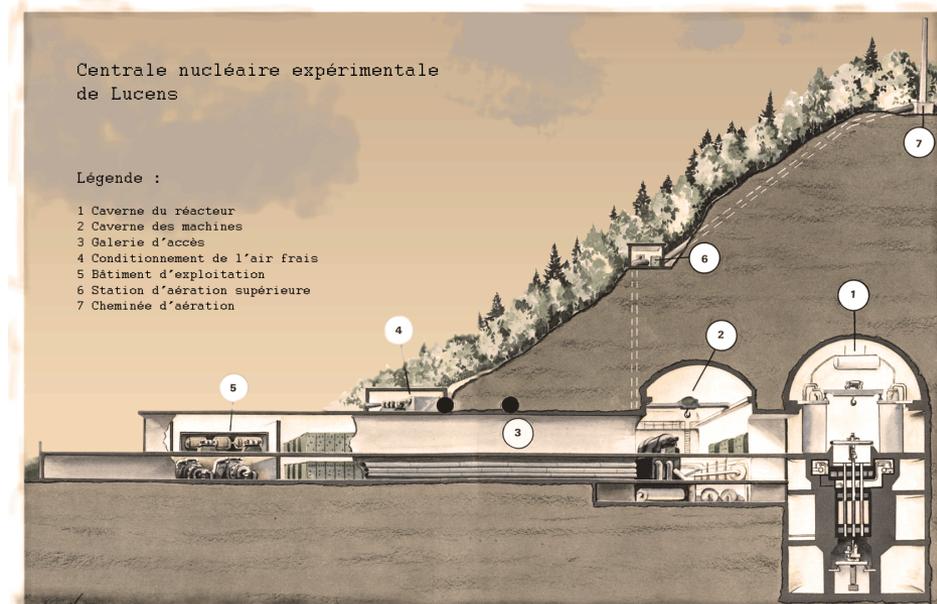
Suite aux accidents nucléaires ayant touchés les installations de Fukushima, la cheffe du DETEC (département fédéral ayant notamment en charge l'énergie) Doris Leuthard **décide le 15 mars 2011**, de la **suspension des procédures en cours** concernant les demandes d'autorisation pour la construction des 3 nouvelles centrales. Le **25 mai 2011**, le **conseil fédéral confirme la sortie progressive de l'énergie nucléaire** en décidant de ne pas renouveler les centrales nucléaires en service et opte pour leur arrêt définitif une fois que celles-ci **auront atteint 50 ans**, c'est-à-dire entre 2019 et 2034. Le 28 septembre 2011, le Conseil des États a confirmé l'arrêt de la construction de nouvelles centrales nucléaires tout en exigeant la poursuite de la recherche dans le nucléaire⁹.

1. Les accidents nucléaires qui ont marqué la mémoire

- a. (Centrale nucléaire de Lucens (centrale expérimentale): 21 janvier 1969, fusion partielle du cœur du réacteur)*
- b. Centrale nucléaire de Three Mile Island (Pennsylvania USA) : 28 mars 1979, fusion partielle du cœur du réacteur*
- c. Centrale nucléaire de Tchernobyl (Ukraine): 26 avril 1986, explosion du réacteur*
- d. Centrale nucléaire de Fukushima (Japon): 11 mars 2011, fusion de 3 cœurs de réacteur*

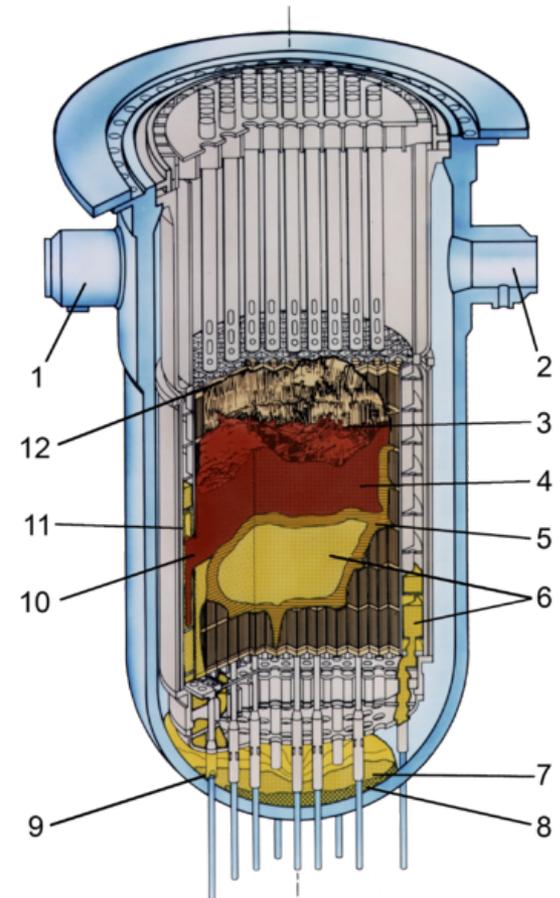
a. Centrale nucléaire de Lucens, 21 janvier 1969

- Construit en tant que réacteur pionnier d'une filière de réacteurs suisses
- Réacteur expérimentale à eau lourde refroidi par du dioxyde de carbone et installé dans une caverne de 25 mètres de haut et 20 mètres de diamètre capable de fournir une puissance thermique de 30 MW
- Combustible: Uranium métallique légèrement enrichi
- Mise en service: 10 mai 1968
- Le 21 janvier 1969, lors d'un démarrage, un problème de refroidissement entraîna une fusion partielle du cœur et une contamination radioactive massive de la caverne.
- Etat actuel: décontaminé et démantelé



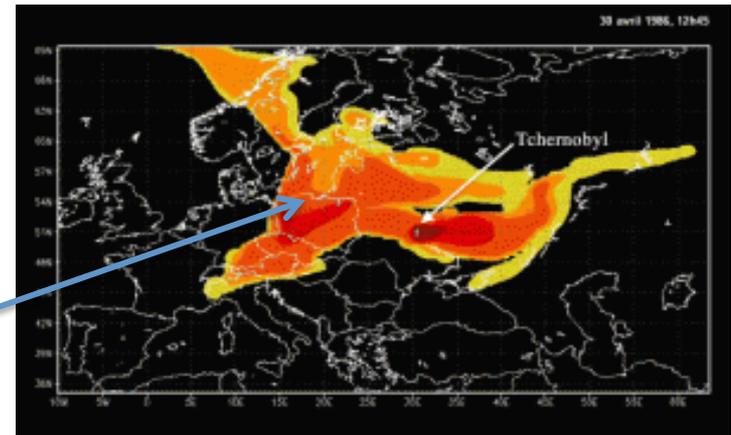
b. Centrale nucléaire de Three Mile Island, 28 mars 1979

- Réacteur à eau pressurisée
- Au réseau depuis 1994
- Le 28 mars 1979 un dysfonctionnement du système de refroidissement a provoqué une fusion partielle en bas du cœur du réacteur. Cet accident de perte de réfrigérant primaire a entraîné le déversement d'une importante quantité de radioactivité, estimée à 43 000 Curies (1,59 PBq) du krypton 85 gaz radioactif (demi-vie 10 ans), mais inférieure à 20 curies (740 GBq) d'iode 131 (demi-vie 8 jours), dans l'environnement.
- L'accident a commencé par la perte d'étanchéité de l'enceinte du circuit d'eau primaire (deuxième barrière de protection), une vanne de décharge du pressuriseur étant restée bloquée en position ouverte. À la suite d'actions inadaptées, le refroidissement du cœur n'a plus été assuré, entraînant la fusion d'une partie du combustible, c'est-à-dire la perte de la première barrière de protection. L'enceinte de confinement, troisième barrière, a joué son rôle pour limiter les rejets radioactifs. Risque d'explosion d'hydrogène!



*c. Centrale nucléaire de Tchernobyl,
26 avril 1986*

Zone contaminée



- Un essai d'îlotage était prévu sur le réacteur no 4, **pour tester l'alimentation électrique de secours** qui permet au réacteur de fonctionner en toute sécurité pendant une panne de courant. La puissance thermique du réacteur avait été réduite de 1 000 MW à 200 MW dans le cadre de ce test dans la nuit du 25 au 26 avril. L'expérience était initialement prévue dans la journée du 25 avril, mais une autre centrale électrique tomba en panne et le centre de régulation de Kiev demanda de retarder l'expérience car son énergie était nécessaire pour satisfaire la consommation électrique de la soirée. À 23 h 04, le centre de régulation de Kiev donna l'autorisation de reprendre l'expérience.
- L'accident s'est alors produit suite à **une série d'erreurs commises par les techniciens** de la centrale en supprimant sous les ordres de leur supérieur, Anatoli Diátlov, plusieurs sécurités. Les opérateurs ont notamment violé des procédures garantissant la sécurité du réacteur et donc de la centrale.
- Le 26 avril entre 1 h 03 et 1 h 23 les opérateurs perdent le contrôle du réacteur; la fusion du réacteur et l'émission de substances radioactives commencent.

2. L'accident nucléaire de Fukushima Daiichi

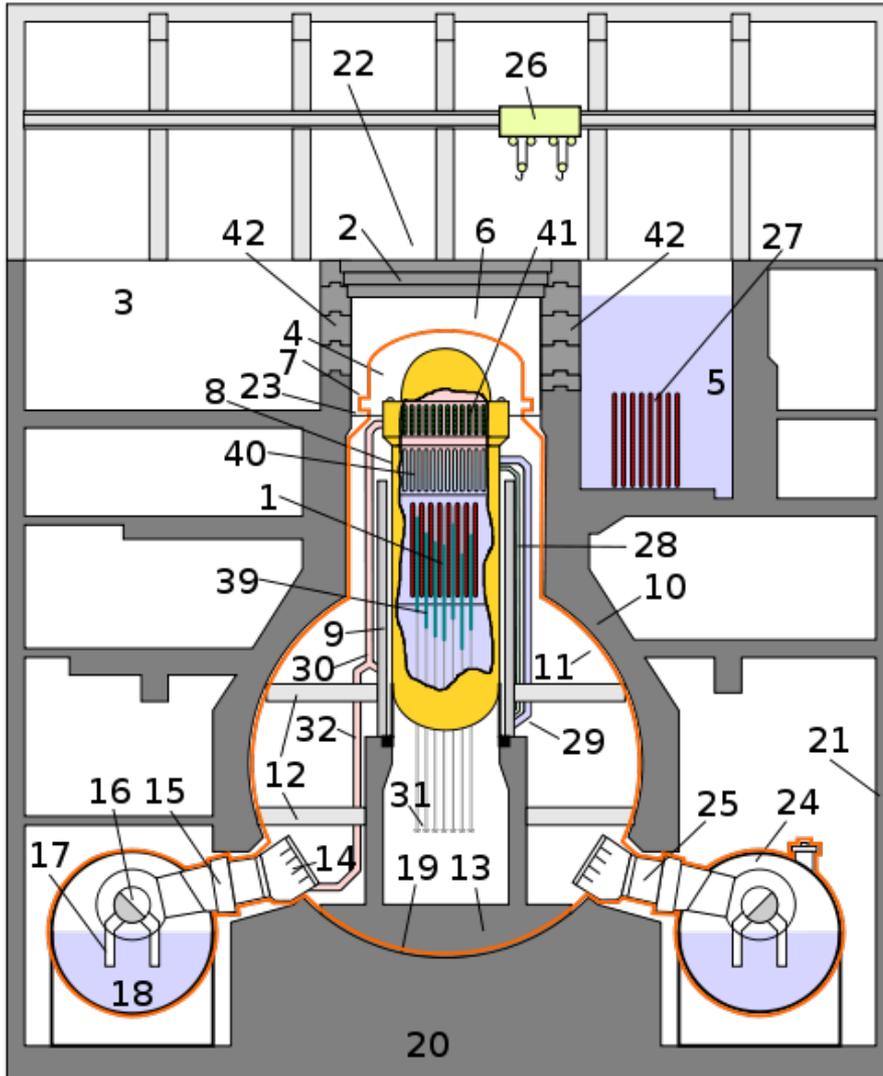
Caractéristiques des réacteurs de Fukushima-Daiichi

Nom du réacteur		Capacité [MW]		Mise en service
		thermique (MWt)	brute (MWe)	
Fukushima Daiichi-1	BWR-3	1 380	460	mars 1971
Fukushima Daiichi-2	BWR-4	2 381	784	juil 1974
Fukushima Daiichi-3	BWR-4	2 381	784	mars 1976
Fukushima Daiichi-4	BWR-4	2 381	784	oct 1978
Fukushima Daiichi-5	BWR-4	2 381	784	avril 1978
Fukushima Daiichi-6	BWR-5	3 293	1 100	oct 1979



2. L'accident nucléaire de Fukushima Daiichi

Les Réacteurs de type Mark 1 (GE)



Orange: Confinement primaire

- 1.- Cœur du réacteur, barres de combustible et (39) de contrôle
- 5.- Piscine de stockage du combustible
- 10.- Enceinte secondaire
- 18.- Fosse humide
- 21.- Bâtiment du réacteur
- 24.- Torus: Chambre de suppression de pression
- 28.- Admission du liquide de refroidissement

(modèle développé au cours des années 1950 par General Electric; actuellement 33 (- 3) réacteurs en fonction

Schéma: Wikipedia

2. L'accident nucléaire de Fukushima Daiichi

Fukushima, une centrale nucléaire « sûre »

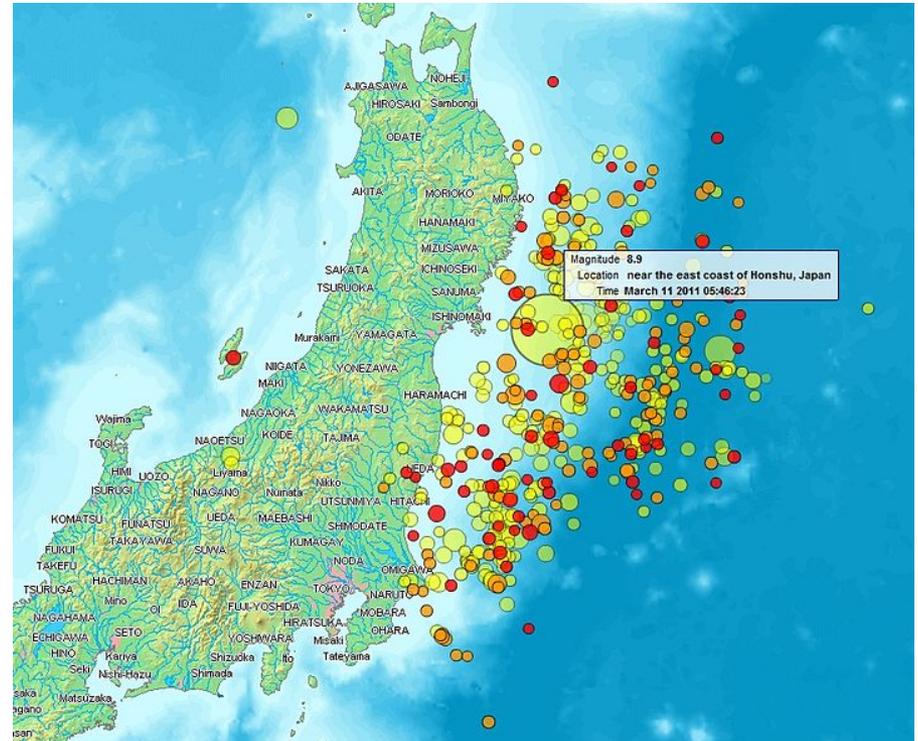
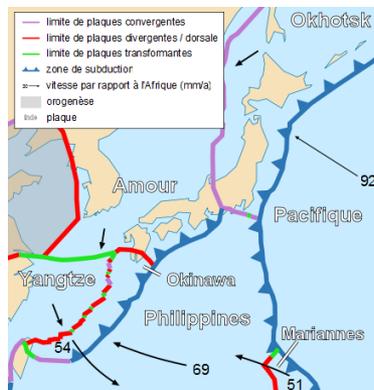
Jusqu'au 10 mars 2011 compris, Fukushima était une centrale nucléaire « **sûre** », en accord avec les critères reconnus à l'échelle internationale.

2. L'accident nucléaire de Fukushima Daiichi

Tremblement de Terre du 11 mars 2011

Magnitude 8.9
Tremblement de Terre sur faille inverse

-> Arrêt automatique des réacteurs en fonction: n° 1, 2, 3



2. L'accident nucléaire de Fukushima Daiichi

Tremblement de Terre du 11 mars 2011

Tsunami:

- 44 minutes après le tremblement de Terre
 - Hauteur de la vague: env. 15 m
- > Inondation des génératrices de secours



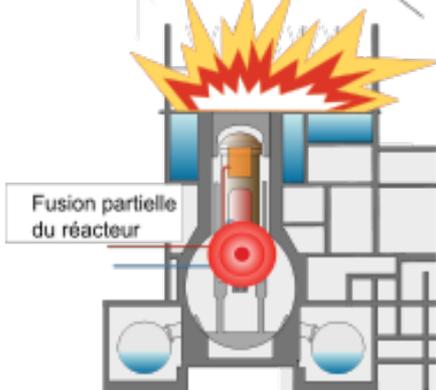
2. L'accident nucléaire de Fukushima Daiichi

Déroulement de l'accident

- 11 mars 2011, 14h46 (heure locale): Tremblement de Terre magnitude 8.9 (échelle de Richter) -> arrêt des réacteurs 1, 2, 3 (réacteur 4 déjà à l'arrêt)
- 11 mars, 15h30: Tsunami, vague de 15m (mur de protection: 5.7m) -> arrêt temporaire des systèmes de refroidissement (différences entre les 3 réacteurs)
- 11 mars, env. 20 h: Début de fusion des barres de combustible dans le réacteur n° 1
- Suite:

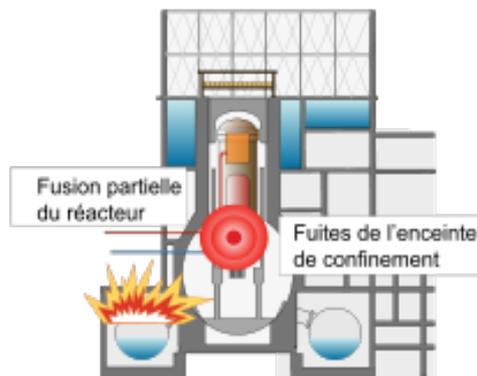
Réacteur 1

Samedi 12 mars : explosion de la structure du bâtiment



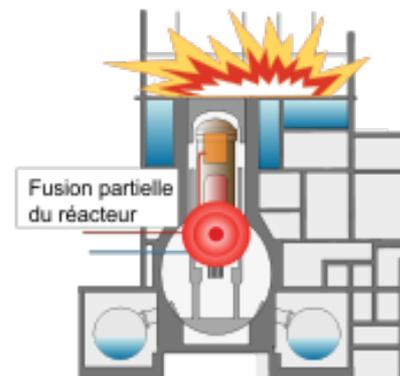
Réacteur 2

Mardi 15 mars : explosion dans la piscine de condensation



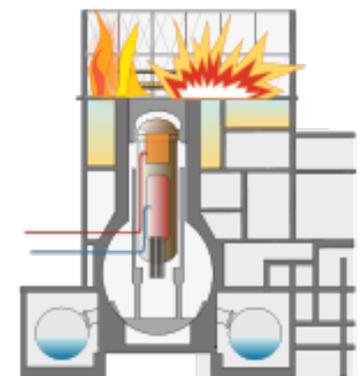
Réacteur 3

Lundi 14 mars : explosion soufflant le toit du bâtiment



Réacteur 4

Mardi 15 mars : explosion puis incendie au niveau de la piscine d'entreposage



2. L'accident nucléaire de Fukushima Daiichi

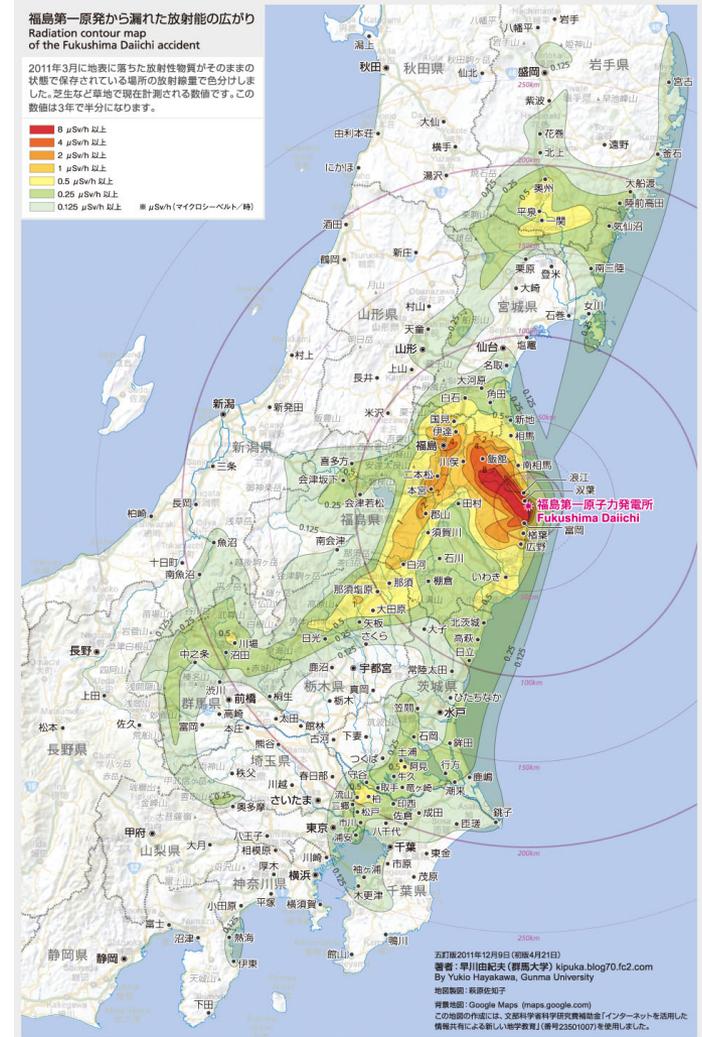
4 raisons pour expliquer la catastrophe

- Estimation erronée concernant la sismicité du site et du tsunami pouvant être provoqué par les tremblements de terre.
- Conception insuffisante et fautive des systèmes techniques en cas d'urgence.
- Mauvaise évaluation de la sécurité de la centrale par les autorités de surveillance de la sûreté nucléaire (vieillesse de la centrale)
- Gestion d'accident défectueuse (**Tepeco**, autorités de sûreté nucléaire, IAEA!)

3. Suites et conséquences de l'accident

Conséquences directes de l'accident

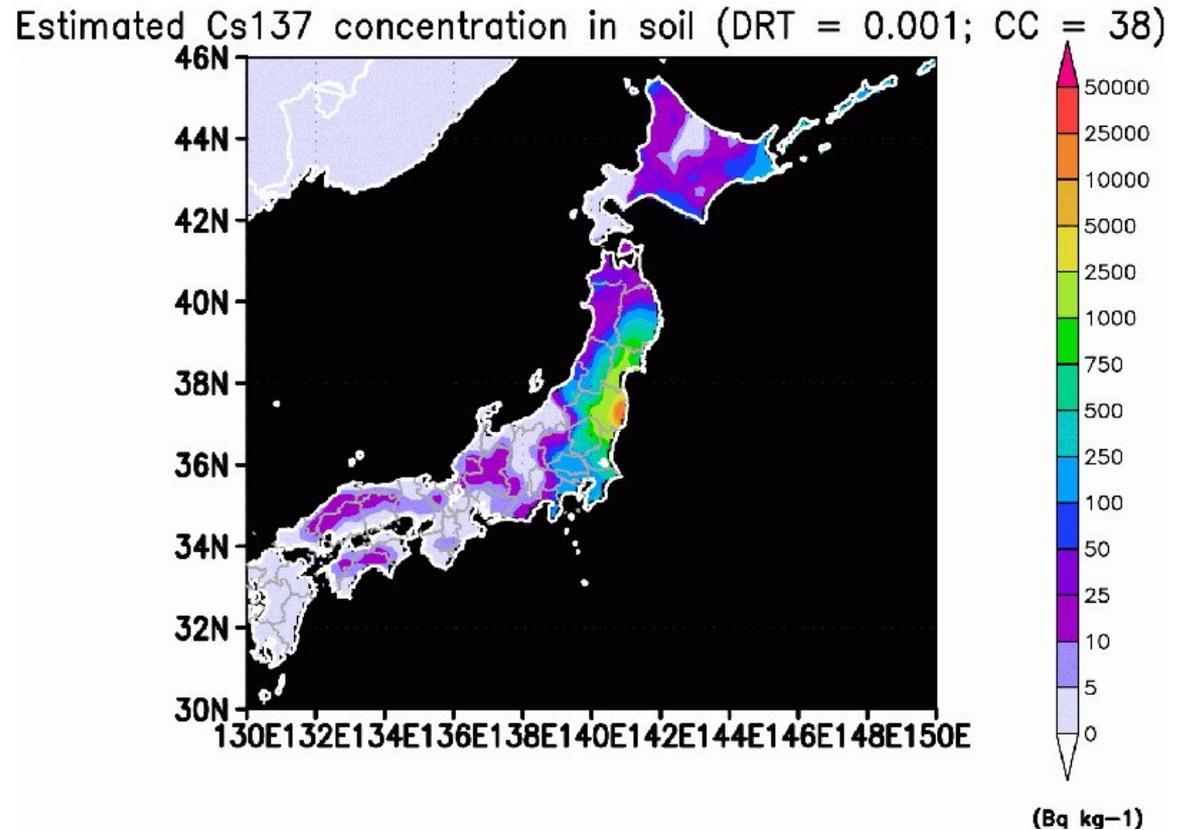
- Contamination radioactive: doses reçues par la population au cours de la première année



3. Suites et conséquences de l'accident

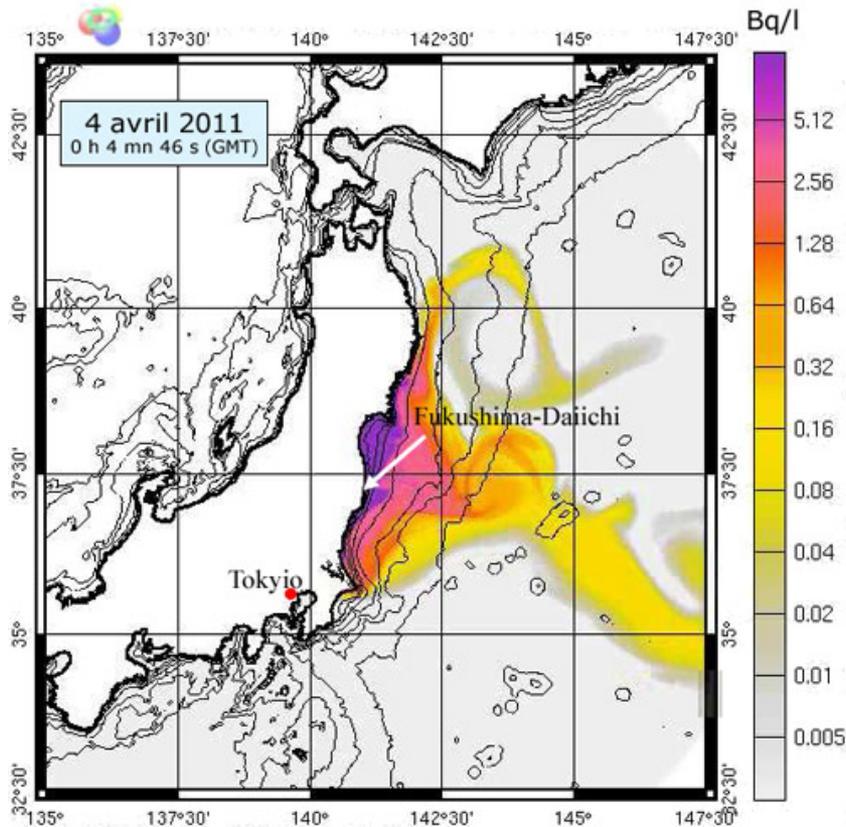
Conséquences directes de l'accident

- *Contamination radioactive des sols: La carte des dépôts de césium-137 établie par l'équipe de Teppei Yasunari. (PNAS)*



3. Suites et conséquences de l'accident

Conséquences directes de l'accident: contamination marine

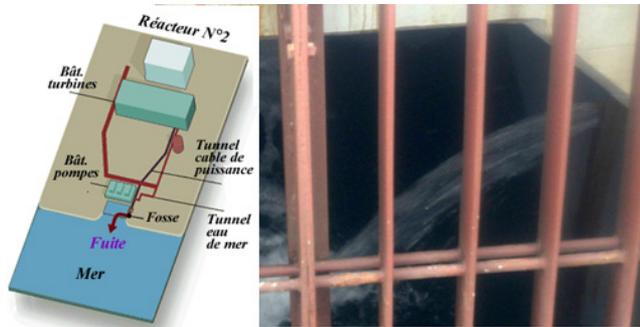


Carte de la contamination marine au 4 avril 2011. Sur les 27 PBq de césium 137 rejetés en mer du 21 mars jusqu'à mi-juillet, l'essentiel (82 %) l'a été avant le 8 avril. Cette carte des retombées montre la contamination de l'eau de mer en césium-137 à la date du 4 avril. La contamination est due aux dépôts en provenance du nuage qui a survolé le Pacifique mais aussi près de la côte en raison des importantes quantités d'eaux très radioactives qui se sont déversées près de la centrale jusqu'au 5 avril. Contrairement aux dépôts au sol, cette contamination évolue sous l'effet des courants marins et de la dilution dans l'océan.

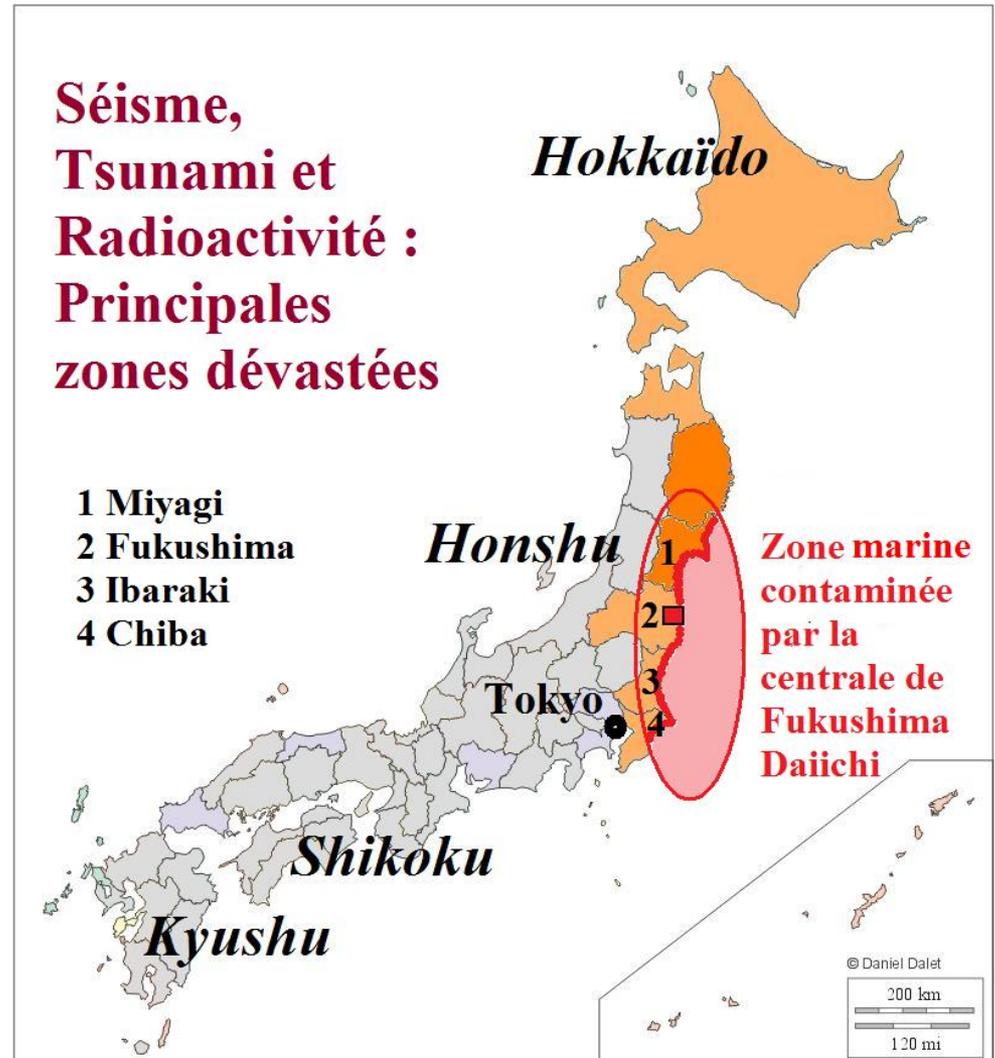
SIROCCO-Université de Toulouse-CNRS-OMP

3. Suites et conséquences de l'accident

Conséquences directes de l'accident: contamination marine



Début avril 2011 : rejets en mer d'eau très radioactive. Cette image montre de l'eau très contaminée s'échappant du réacteur N°2 par une fissure dans une fosse d'où elle se déversait dans l'océan tout proche. Le schéma de gauche montre l'emplacement de la fosse par rapport au réacteur N2 et à la mer. Tokyo Electric Power Company, via Reuters



3. Suites et conséquences de l'accident

Décontamination de l'eau

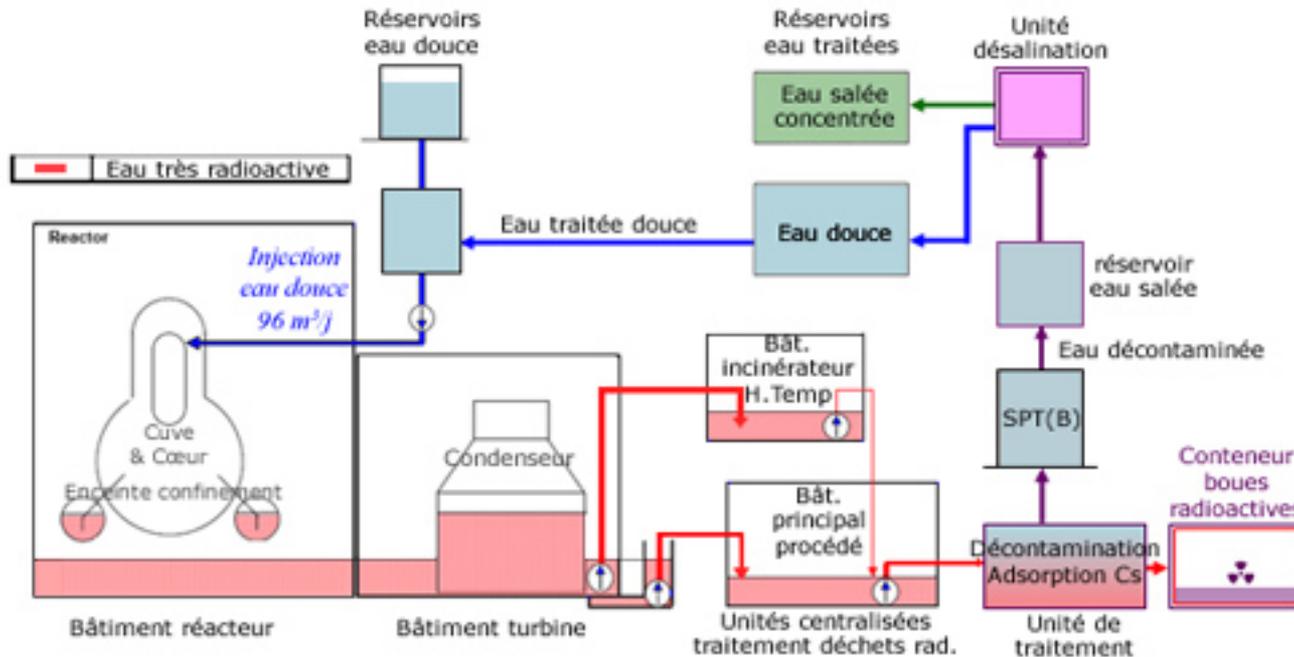


Schéma du traitement des eaux radioactives Principe de l'installation de décontamination. L'eau radioactive qui inonde en partie basses des bâtiments réacteurs et turbines est débarrassée de sa radioactivité dans l'unité de traitement. Celle-ci se retrouve dans des boues radioactives entreposées dans des conteneurs. L'eau décontaminée étant salée, elle doit être ensuite débarrassée de son sel. Devenue douce, elle peut être réinjectée dans la cuve des réacteurs (à gauche) Source IRSN

3. Suites et conséquences de l'accident

Décontamination de l'eau

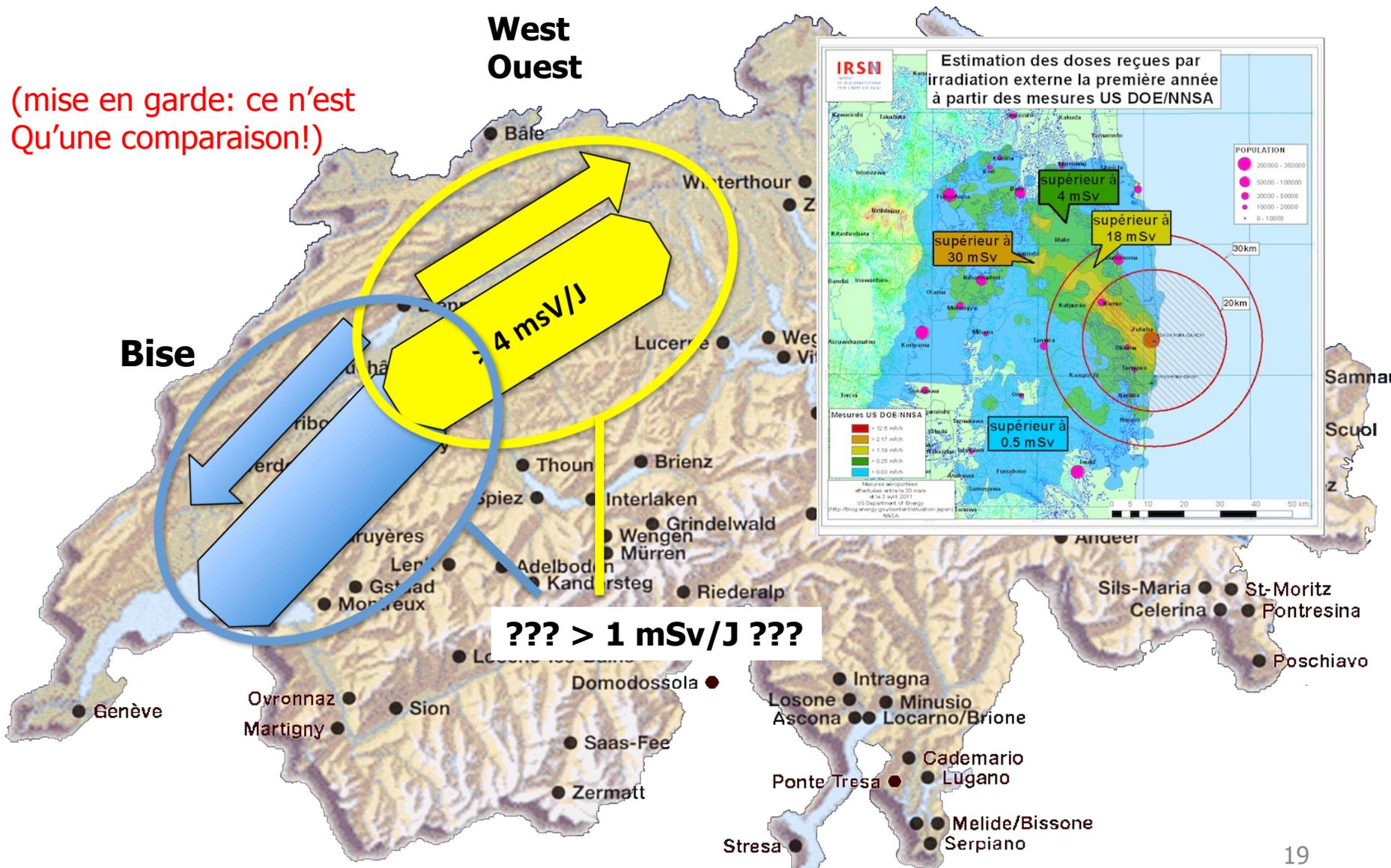


Filtrer le césiumL'installation de ces filtres à césium de la société Kurion en juin 2011 a permis de débarrasser l'eau contaminée du césium-134 et césium-137, deux isotopes radioactifs qui constituaient la principale source de sa radioactivité. Ces filtres diviseraient par 10 000 la contamination en césium. Kurion

3. Suites et conséquences de l'accident

Surfaces contaminées: Fukushima -> Projection Suisse

(mise en garde: ce n'est
Qu'une comparaison!)



3. Suites et conséquences de l'accident

Conséquences directes de l'accident: évacuations

- 80'000 personnes évacuées (Tsunami + Centrale nucléaire)
- Certaines pour des 10-aines d'années



Le Figaro, 13 mars 2011

3. Suites et conséquences de l'accident

Conséquences directes de l'accident

- Contamination de **produits agricoles** (centaines de Bœufs abattus, riz contaminé . . .)
- Contamination des **sols** (1 Mio m³ de sol seront éventuellement décapés et « entreposés »)
- Rejets **d'eau contaminée dans l'Océan**: Contamination des produits de la pêche, arrêt de l'activité de pêche.
- Contamination de l'**eau potable** sur le continent

3. Suites et conséquences de l'accident

Coût de l'accident

- Perte de 3 réacteurs (év. 4?): env. 15 Mia USD <- vieux réacteurs
- Dommages financiers directs (indemnisation des habitants, démantèlement de la centrale): env 100 Mia USD ? (Spiegel)
- Autre estimation: env. 250 Mia USD
- Coût à long terme -> ???



Le Nucléaire

c'est quoi?

Présentation : Chaïm Nissim

Member of the European Environmental Bureau and of the Climate Action Network Europe (CAN –E)

Accredited by the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)

Noé21 - Quai Charles Page 19 - 1205 Geneva – Switzerland - Tel : +41 22 329 51 36 - www.noé21.org - info@noé21.org

Les différentes générations de réacteurs

Génération I

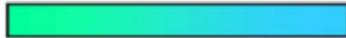


Premières réalisations



UNGG
Chooz
Magnox

Génération II



Réacteurs actuels



PWR
AGR
REP 900
REP 1300
N4
BWR
CANDU

Génération III

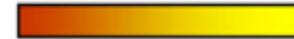


Réacteurs avancés



AP 600
System 80+
CANDU 6

Génération III+



Réacteurs évolutionnaires



ABWR
ACR1000 AP1000
APWR
EPR
ESBWR

Génération IV



Réacteurs du futur

- Plus économes des ressources naturelles
- Moins de déchets
- Plus respectueux de l'environnement
- Plus économiques
- Plus sûrs et fiables
- Plus résistants vis-à-vis des risques de prolifération
- Mieux protégés contre les agressions externes

1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030

Gén I

Gén II

Gén III

Gén III+

Gén IV

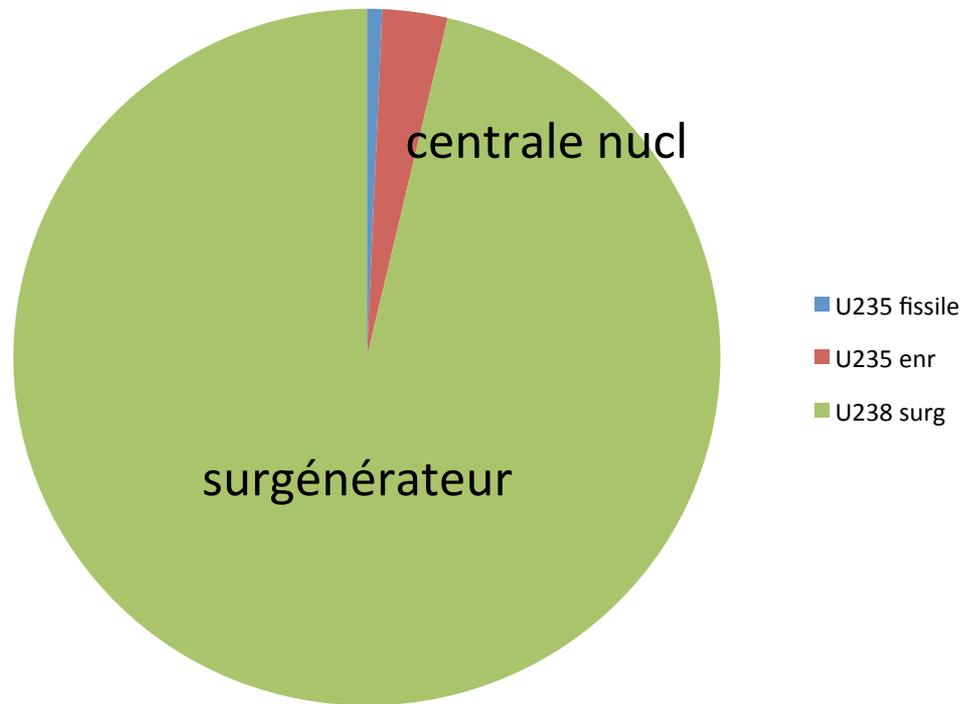
2 exemples parmi les plus crédibles

Les surgénérateurs

Le rubbiatron, transmutation des déchets

Le rubbiatron: production d'énergie

Le sugénérateur brûle tout l'uranium



Mais il faut 3 centrales pour faire tourner les centrifugeuses

Comment enrichir l'uranium

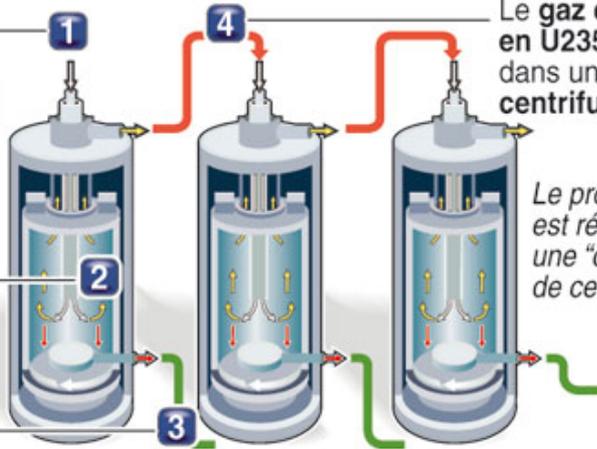
▶ Uranium naturel

Il est composé à 99,3% d'**U238** et à 0,7% d'**U235** (le seul permettant de produire de l'énergie nucléaire)

L'uranium à l'état gazeux est introduit dans la centrifugeuse

L'**U235**, plus léger, remonte

L'**U238**, plus lourd, descend et est enlevé



▶ Processus d'enrichissement

Il permet d'augmenter le taux d'uranium 235 en le séparant de l'**U238** dans une centrifugeuse

Le gaz enrichi en **U235** est envoyé dans une deuxième centrifugeuse

Le processus est répété dans une "cascade" de centrifugeuses

Utilisations



Civil : 4 à 5% d'**U235** sont nécessaires pour fabriquer le combustible destiné aux centrales



Militaire : au moins 90% d'**U235** (uranium enrichi) pour fabriquer des bombes nucléaires

L'énergie dépensée dans ce processus coûte très cher (électricité)!

4X



Les surgénérateurs par contre

- Brûlent tout le combustible, le U238 fertile devient fissile avec les neutrons rapides
- Le U238 capture un neutron et devient Pu239 fissile (bombe au Pu, bombe à l'U235 enrichi)
- Les surgénérateurs peuvent fabriquer du Pu239 et le brûler
- L'amour et le monstre: citer Gen Thiry fabrication PU239

Si on admet qu'il reste pour 40 ans de combustible pour les PWR

- Avec les surgénérateurs il en resterait $40 \times 70 = 2800$ ans de combustible!

Mais les surgénérateurs sont dangereux

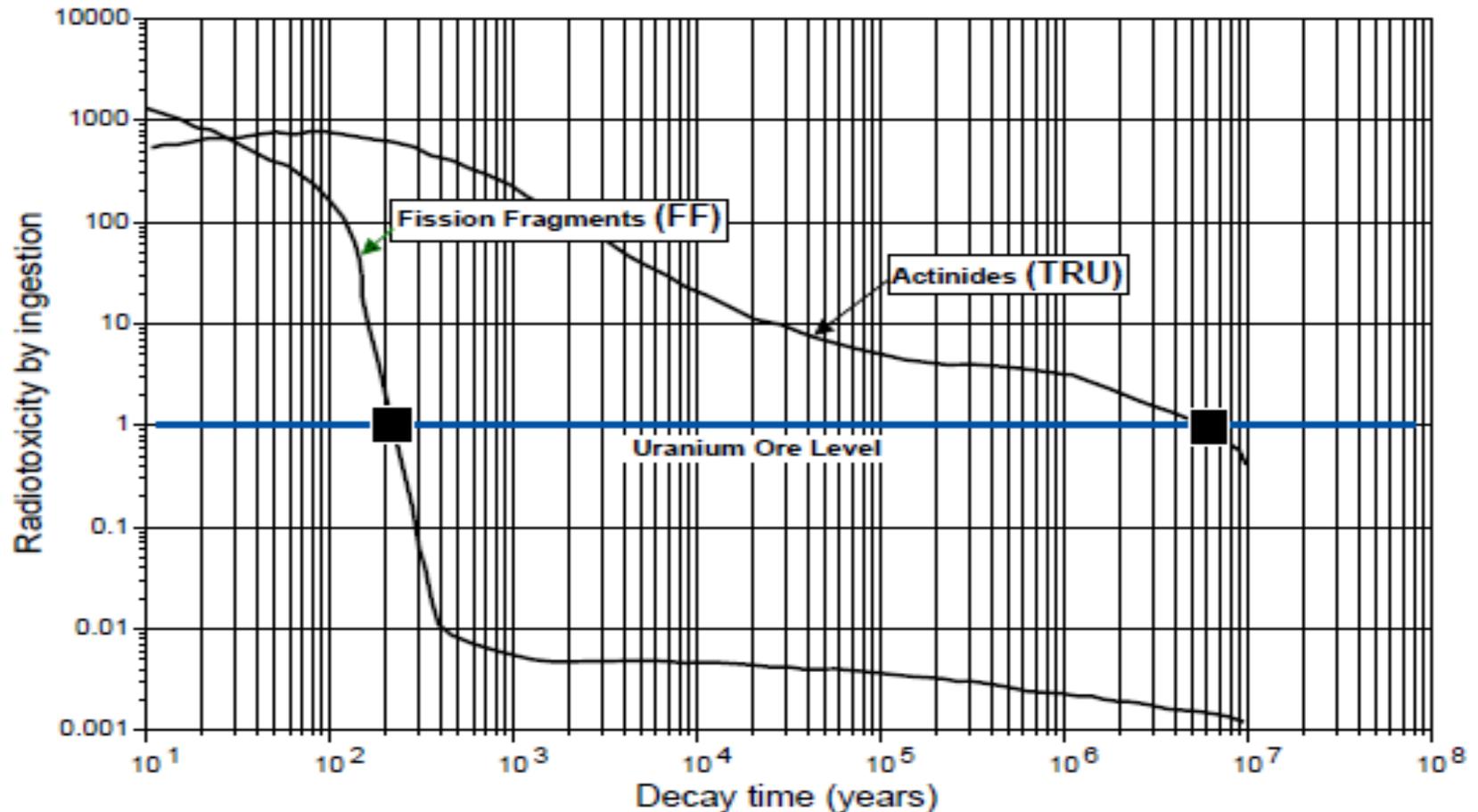
- A cause des 5000 tonnes de sodium qui brûlent au contact de l'air et qui explose au contact de l'eau
- A cause des 5 tonnes de plutonium (radiotoxicité)
- A cause des neutrons rapides (excursion - panne du barillet)

La filière Thorium, Rubbiatron: et s'il existait une solution au problème des déchets?

- Les anti-nuc doivent-ils se responsabiliser pour le problème des déchets?
- Rubbiatron filière thorium
- On prend des protons relativistes on les projette contre une cible en plomb fondu, on obtient des neutrons rapides de spallation, on transforme le thorium 232 fertile en u233 fissile

- Avantages du rubbiatron
- Pas proliférant, pas d'application militaire
- Réduit les stocks de Pu239. diminue la radiotoxicité
- Inconvénients
- Accélérateur cher, consomme bcp d'énergie
- Les PF (produits de fission) durent quand même 250 ans

eliminate them. As the long-term radio-toxicity of waste (Figure 1) is clearly dominated by TRU, the EA has been designed to destroy them with the highest efficiency.



Nucléide	Période (a)	Bq/g	Sv/Bq	Sv / g	Radiotoxicité ²
Am241	4,32E+02	1,27E+11	2,00E-07	25 389,03	très forte (1)
Pu240	6,57E+03	8,39E+09	2,50E-07	2 096,754	très forte (1)
Am243	7,38E+03	7,37E+09	2,00E-07	1 474,638	très forte (1)
Cm245	8,50E+03	6,35E+09	2,10E-07	1 333,375	très forte (1)
Pu239	2,41E+04	2,29E+09	2,50E-07	573,457	très forte (1)
Pu242	3,70E+05	1,48E+08	2,40E-07	35,442	très forte (1)
Np237	2,14E+06	2,61E+07	1,10E-07	2,868	très forte (1)
U235	7,04E+08	7,99E+04	4,70E-08	0,004	faible (4)
U238	4,47E+09	1,24E+04	4,70E-08	0,001	faible (4)

La radiotoxicité dépend de l'activité massique du radionucléide, qui est d'autant plus forte que la demi-vie du radioélément est faible. De ce fait, bien que le facteur de dose retenu pour les actinides suivant soit sensiblement du même ordre de grandeur, leur radiotoxicité varie sur huit ordres de grandeurs : le plutonium (Pu240) a une radiotoxicité de deux sieverts par milligramme, alors que l'uranium a une radiotoxicité de l'ordre du sievert par kilogramme, un million de fois plus faible.

- Le dilemme des anti-nucléaires: devons-nous gérer les stocks de Pu239 existants, les casser en produits de fission plus gérables, au risque d'encourager la suite du nucléaire et la prolifération?

Merci! cnissim@iprolink.ch

079 316 98 13





LA SORTIE DU NUCLÉAIRE

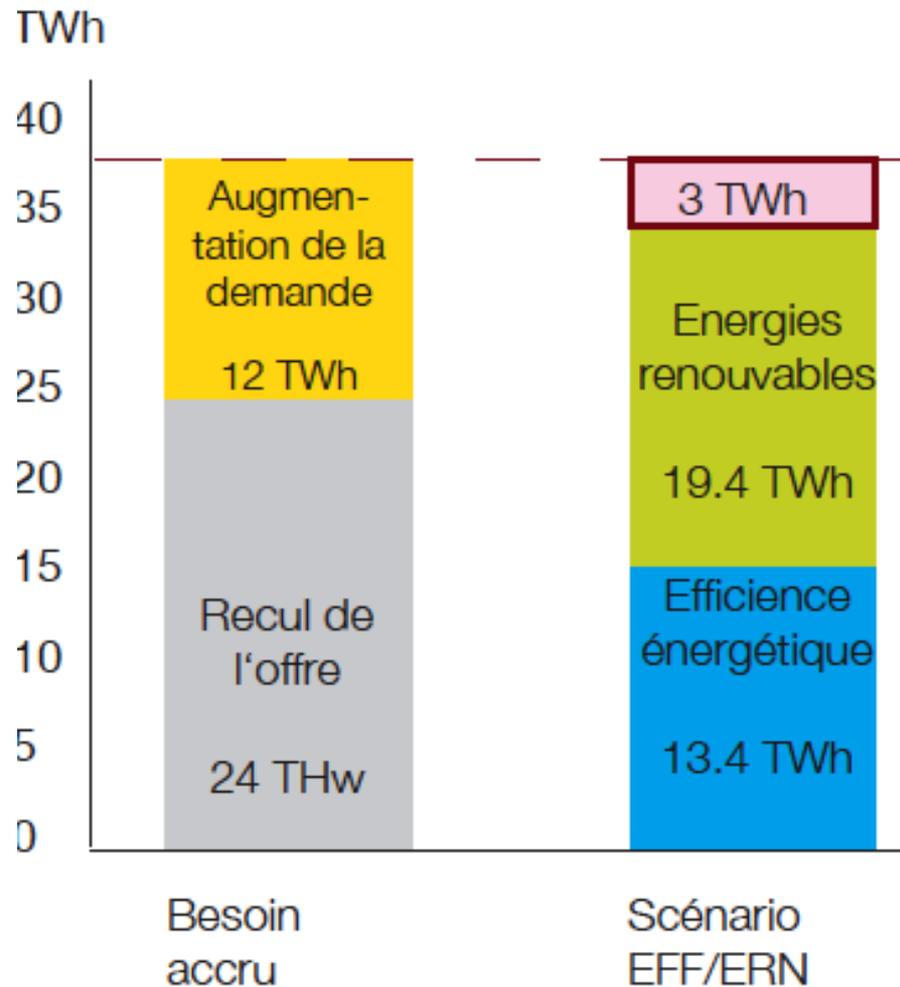
Stratégie énergétique 2050 du Conseil fédéral

Member of the European Environmental Bureau and of the Climate Action Network Europe (CAN –E)

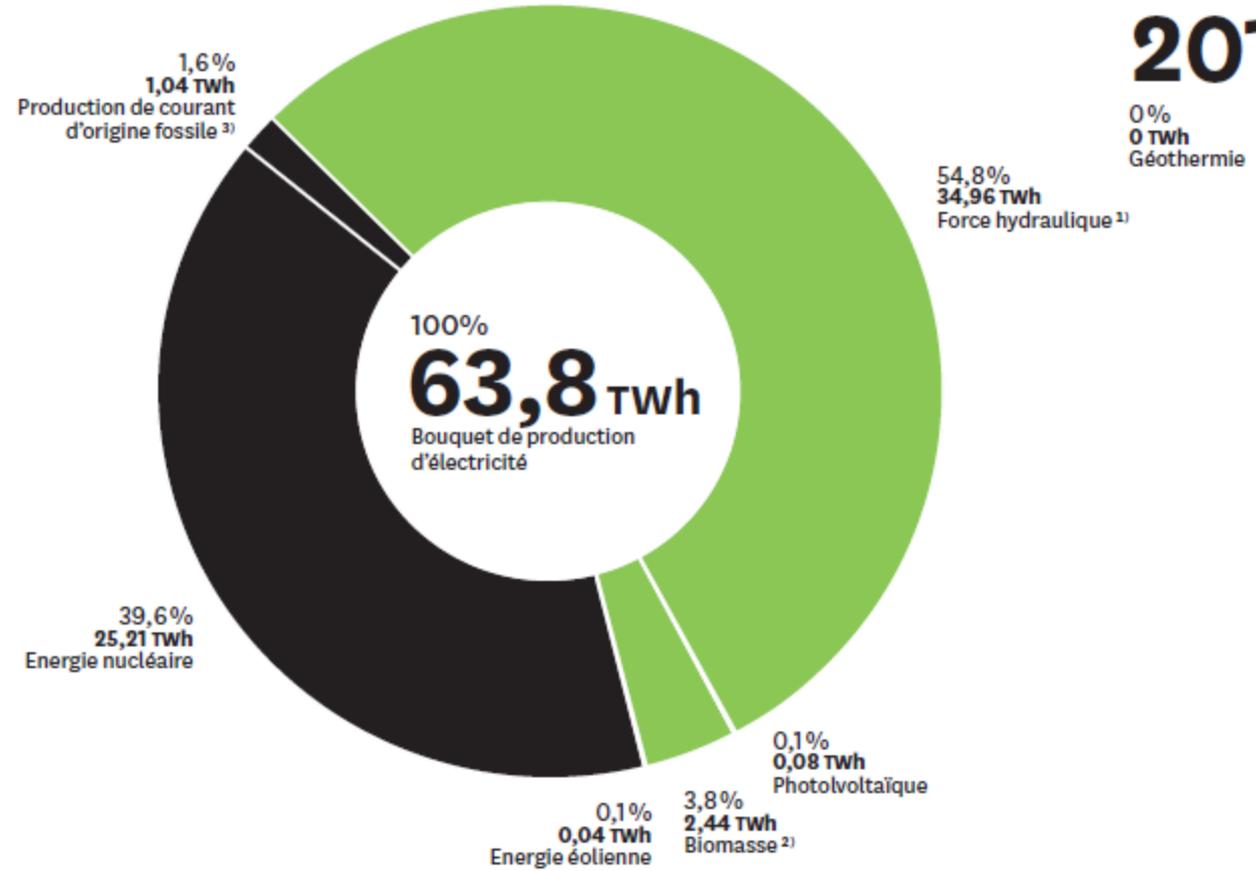
Accredited by the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)

Noé21 - Quai Charles Page 19 - 1205 Geneva – Switzerland - Tel : +41 22 329 51 36 - www.noé21.org - info@noé21.org

Que cherche –t-on à prouver?



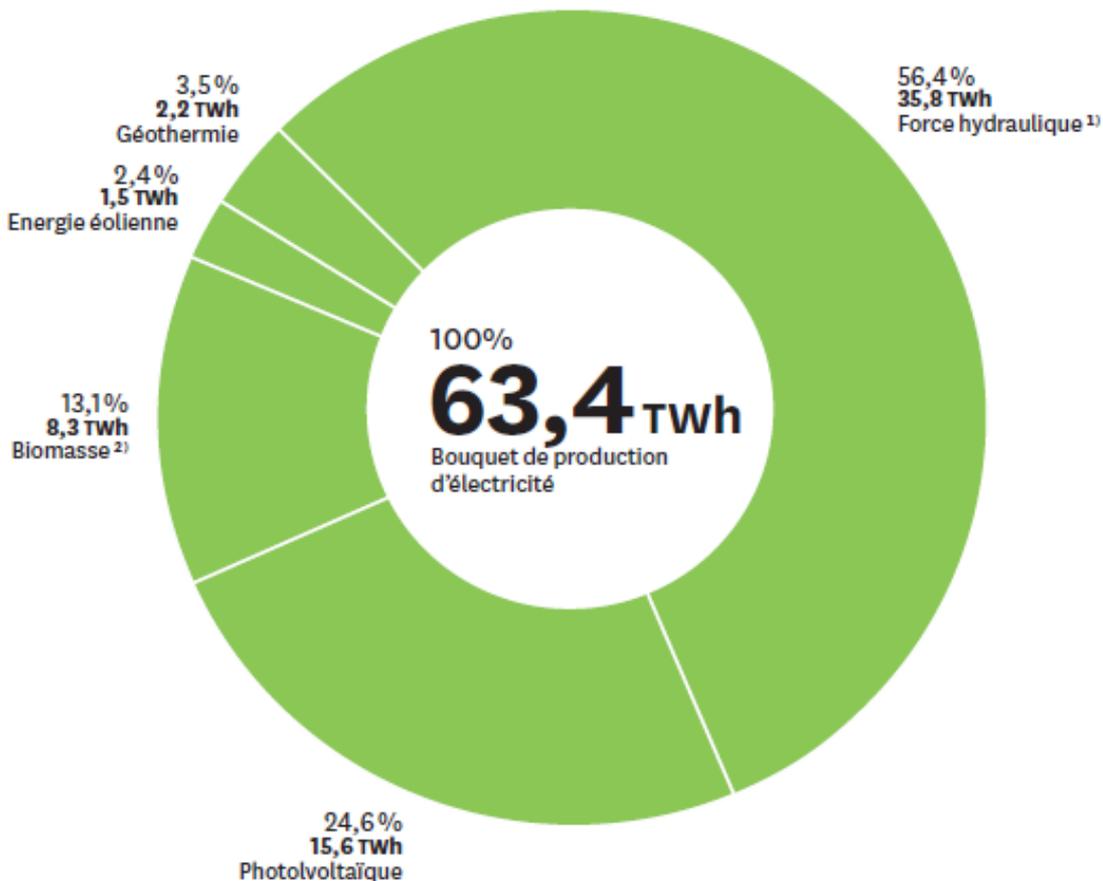
2010



¹⁾ net; consommation pour le pompage-turbinage déduite
²⁾ inclue production de courant par les déchets
³⁾ exclue production de courant par les déchets

2035

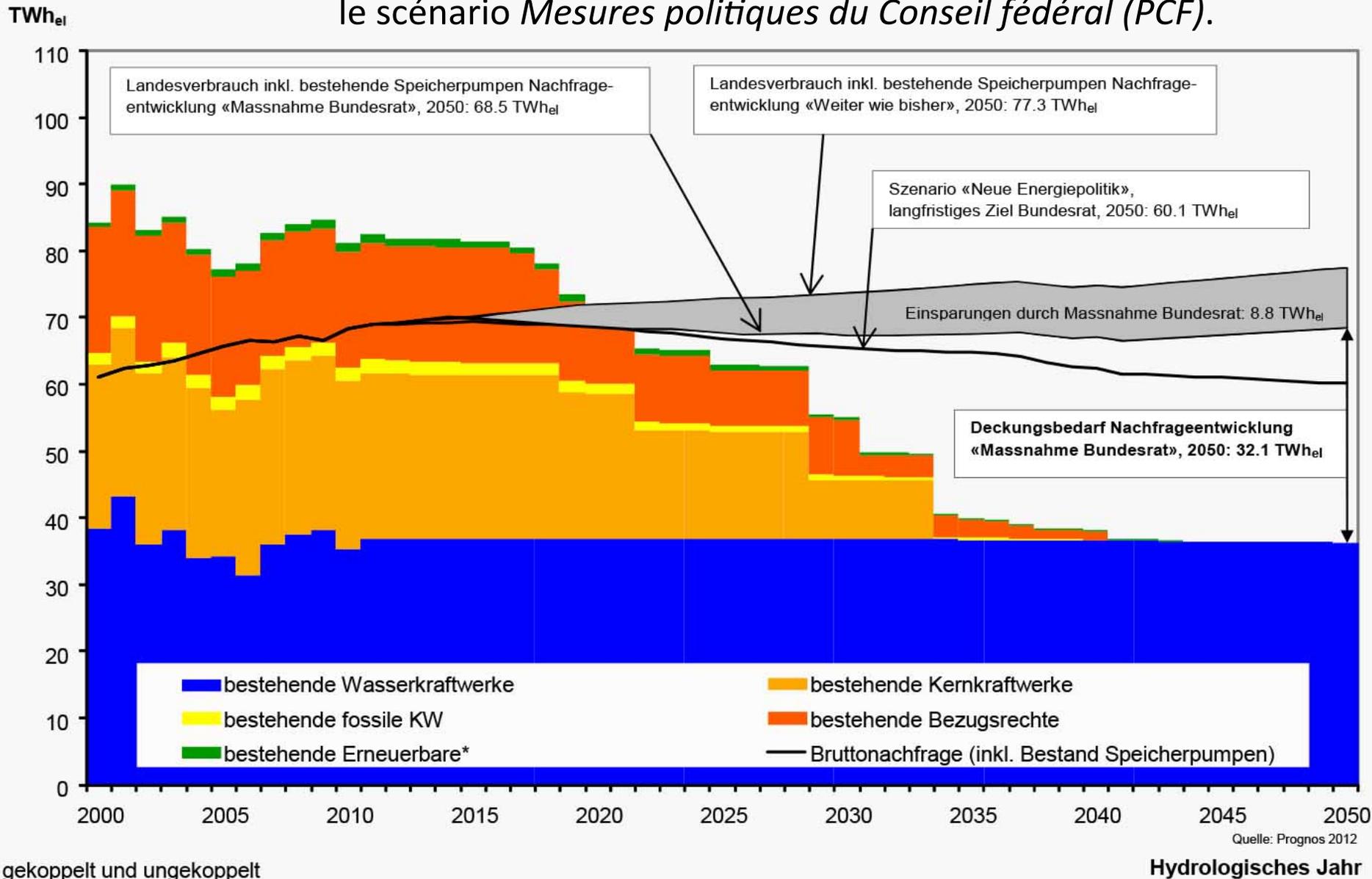
0%
0 TWh
Énergie nucléaire,
énergies fossiles



**0,0
pour cent**

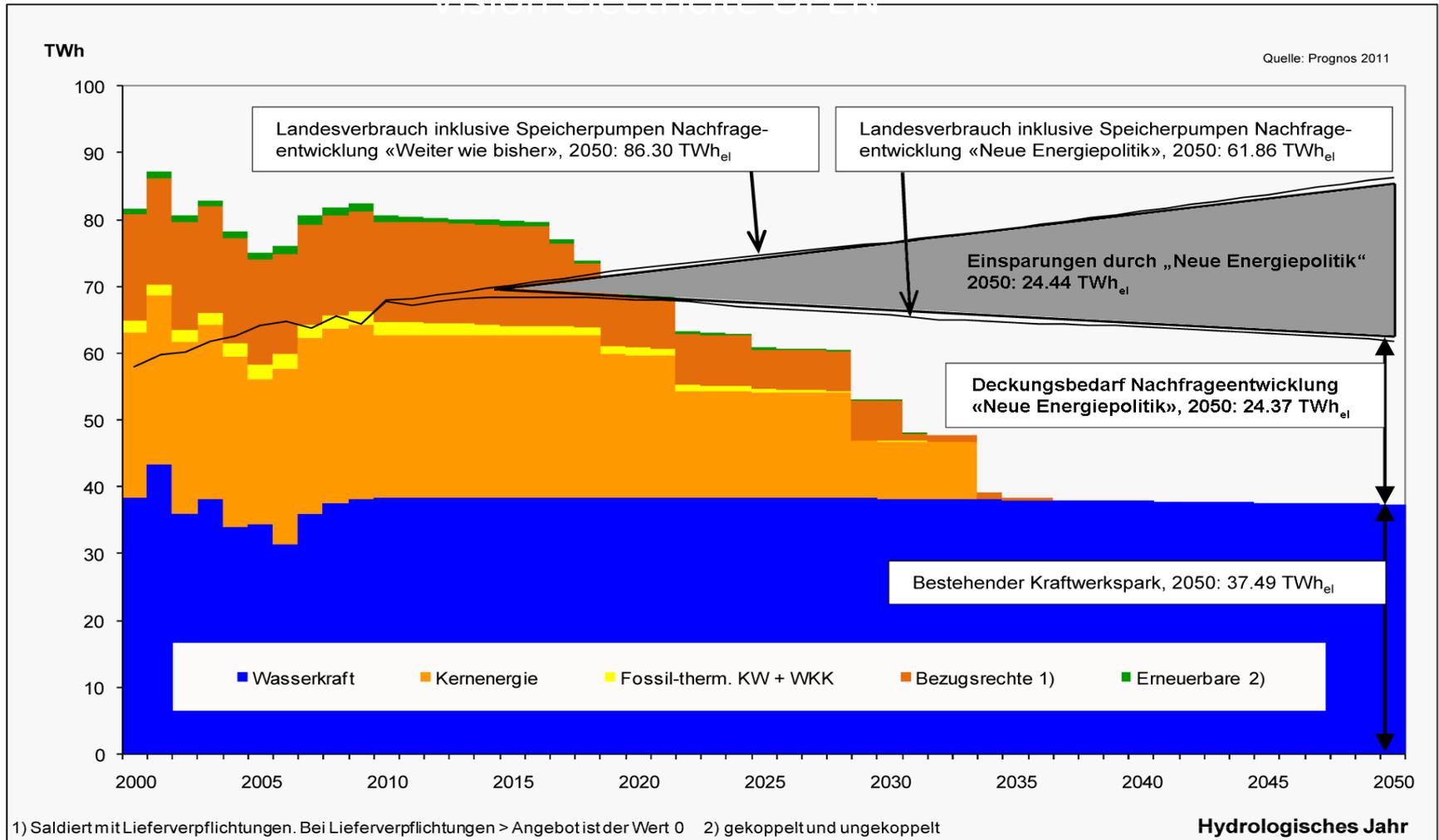
En 2035, la production du bouquet électrique n'utilise pas de vecteurs énergétiques nucléaires ou fossiles. La quantité de courant produit en 2010 (63,8 TWh, net, sans pertes sur le réseau) ne doit pas être augmentée, car la consommation finale est réduite à 56,2 TWh, grâce aux mesures d'efficacité électrique.

Consommation nationale de 2000 à 2050 en TWh, y compris pompes d'accumulation actuelles, et besoin de couverture dans le scénario *Mesures politiques du Conseil fédéral (PCF)*.

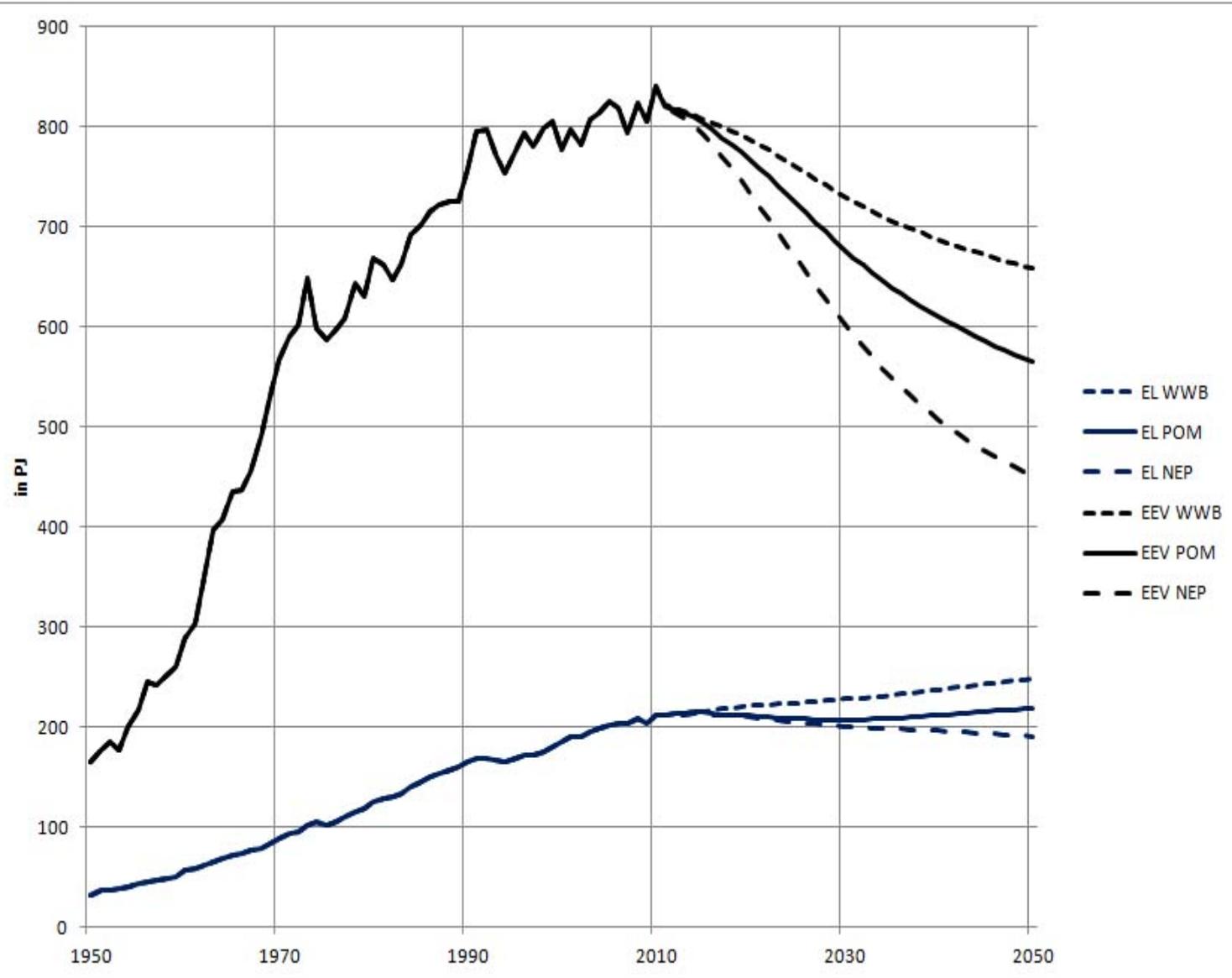


*) gekoppelt und ungekoppelt

1. Contexte suisse sortir du nucléaire



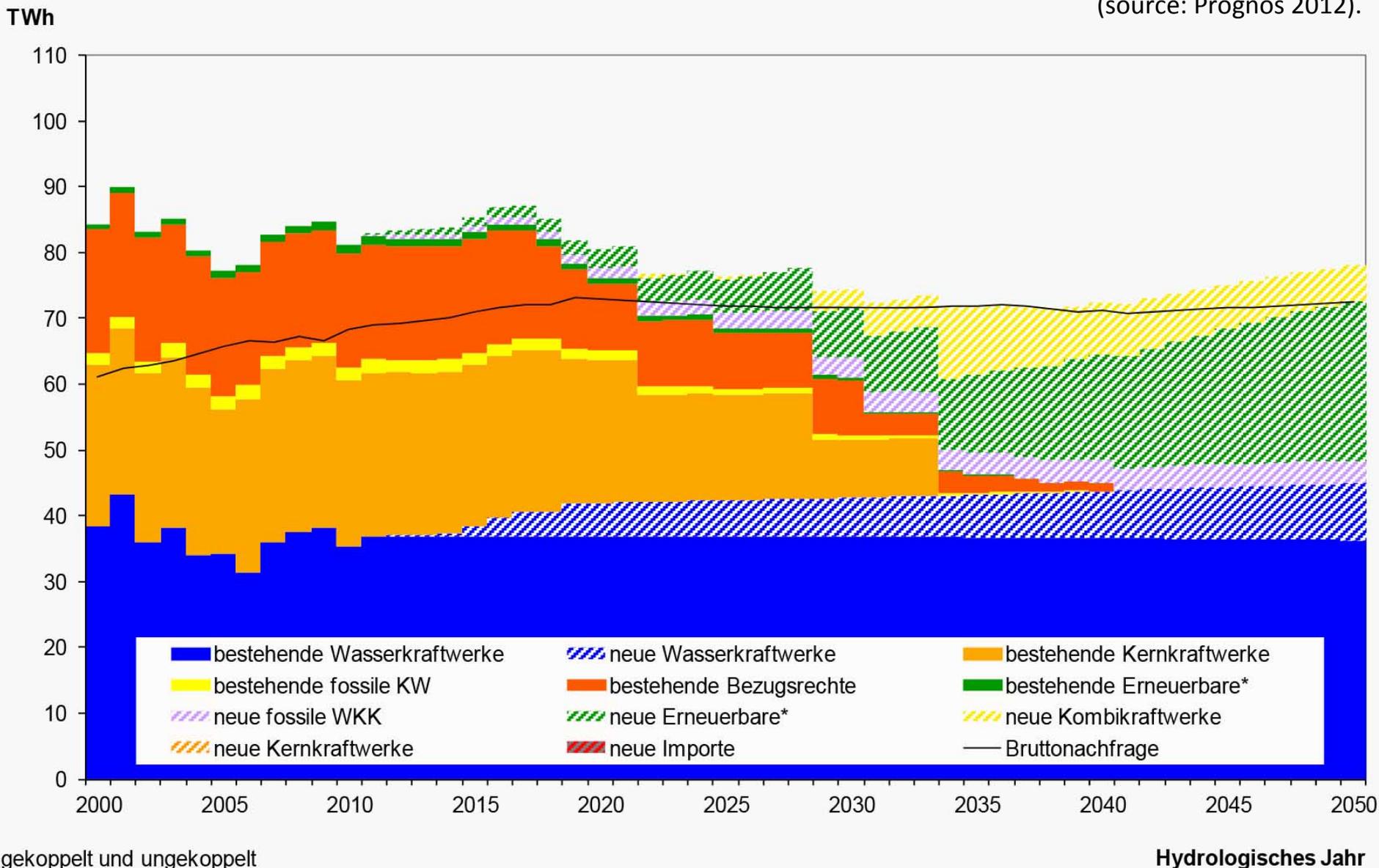
Consommation finale d'énergie et d'électricité de 1950 à 2050 pour les scénarios:



1. *Poursuite de la politique énergétique actuelle (PPA)*
2. *Mesures politiques du Conseil fédéral (PCF)*
3. *Nouvelle politique énergétique (NPE) en PJ (3,6 PJ = 1 TWh).*

Offre d'électricité, variante C & E, scénario Mesures politiques du conseil fédéral, année hydrologique en TWh

(source: Prognos 2012).



*) gekoppelt und ungekoppelt

Scénario Mesures politiques du Conseil fédéral, production électrique en fonction des technologies, année hydrologique, variante d'offre C & E, en TWhel/a.

	2000	2010	2020	2035	2050
Force hydraulique	38.38	35.42	42.04	43.02	44.15
Dont nouvelles centrales (y c. stockage)			5.09	6.48	8.57
Centrales nucléaires	24.73	25.13	21.68		
Centrales fossiles	1.79	2.18	3.13	15.20	10.65
Dont centrales existantes	1.79	2.18	1.48	0.32	
Dont nouvelles centrales à cycle combiné				11.63	7.20
Dont nouvelles installations CCF fossiles			1.63	3.24	3.43
Energies renouvelables	0.81	1.38	3.68	11.94	24.22
Dont nouvelles			2.77	11.84	24.22
<i>Consommation du pompage</i>	2.22	2.56	7.54	7.54	7.54

La stratégie 2050

- Batim taxe CO2 passe de 270 à 600 mios/an
- Renouv RPC passera de 210 à 840 mios en 2040
- EAE efficience +1%/an certif blancs
- EAE rémunéré en fonction de DSM - Calif
- RFE (réforme fiscale – énergie plutôt que travail) en 2020 seulement – CF prudent

Merci! cnissim@iprolink.ch

079 316 98 13

