



Provence

**6<sup>ème</sup> forum  
RESNUC  
Université de  
Nîmes  
11-12 février  
2021**

**Conférence de  
P. Michaille  
en distanciel**

10 fev 2021

**Des échanges,  
des conférences,  
des découvertes  
et des défis**



Université de Nîmes  
Site Vauban  
5 rue du Docteur Georges Salan  
30021 Nîmes



forumresnuc@gmail.com



@RESNUC



@FResnuc

**6<sup>ème</sup> forum RESNUC**

**La perception  
du risque  
autour des  
activités  
nucléaires**

**11 et 12  
février**

UNÎMES - Site Vauban

# Programme des conférences

## La place du nucléaire dans le mix énergétique français

### Mardi 9 Février

17h à 17h20

Aurélien HAMON

Chef d'exploitation Centre Nucléaire de Production d'Electricité de St Laurent  
des Eaux  
EDF

La flexibilité / l'ajustement de la production des tranches nucléaires en fonction  
des variations sur le réseau, des conditions climatiques et de la part des  
énergies renouvelables dans le mix-énergétique

17h30 à 17h50

Véronique GARAT

Chef de service Procédé, Recherche et Développement  
Orano Melox

Le nucléaire, une énergie bas carbone

18h à 18h20

Stéphane BOURG

Chef de projet, coopération européenne et internationale  
*Institution des sciences et techniques pour une économie bas-carbone*  
Evolution de l'empreinte environnementale des systèmes d'énergie nucléaire.  
Comparaison entre les cycles du combustible fermés et ouverts. Limite et  
crédibilité de la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) à l'horizon 2050

### Mercredi 10 Février

17h à 17h20

Anthony CELLIER

Député, rapporteur de la loi Energie Climat et rédacteur de la Stratégie Nationale  
Bas-Carbone (SNBC)

Confirmation du thème en attente

17h30 à 17h50

Guillaume COCHARD

Responsable communication et dialogue avec la société  
ANDRA

La gestion des déchets radioactifs en France

18h à 18h20

Patrick MICHAILLE

Président de la SFEN Provence  
Les accidents nucléaires et leur perception pour la société. Les déchets  
nucléaires, les conséquences, leurs origines. Ouvertures sur les SMR (small  
modular reactors)

Pour les deux jours de 18h20 à 19h15 :

Questions et débats à l'issue des interventions avec écoute et respect des opinions

 [forumresnuc@gmail.com](mailto:forumresnuc@gmail.com)



Provence

Société française d'énergie nucléaire

Groupe Régional Provence

[www.sfen.org](http://www.sfen.org)



Association des Retraités du groupe CEA

Groupe Argumentaire sur les Énergies - Nucléaire et Alternatives

[www.energethique.com](http://www.energethique.com)

# Nucléaire = accidents + déchets ? du secret à la transparence

**Patrick MICHAILLE**

Président Sfen-Provence + ARCEA-Cadarache

# Accidents graves

**Que s'est-il passé ? description de l'accident**

**Pourquoi est-ce arrivé ? Identification des causes**

**Comment l'accident a-t-il été géré ?**

**Quelles sont les conséquences ?**

Impact sur le personnel

Impact sur les populations, sur la **société**

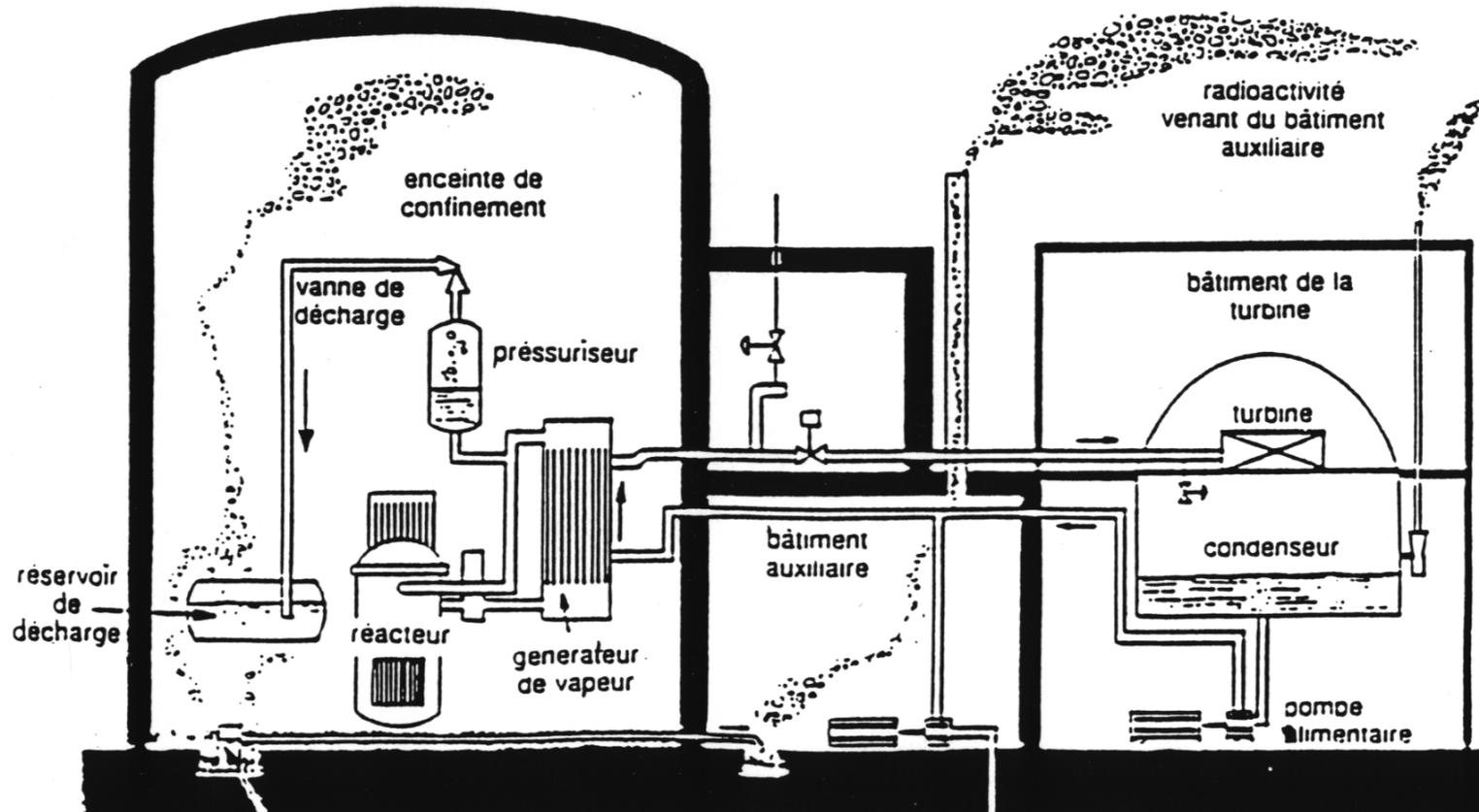
Impact sur le développement du nucléaire dans le monde

**Leçons** tirées pour l'exploitation du parc français

# TMI-2 : accident grave dans un REP

1979, 28 mars, 4 H du matin ; MSI : 3 mois avant

SCHÉMA SIMPLIFIÉ DES REJETS RADIOACTIFS A THREE MILE ISLAND



1 M hab < 50 km

Surmortalité par cancer  
(conclusion de l'enquête) :

proba 53 % – 0 cas

proba 12 % – 2 cas

proba 99 % < 5 cas

**Coup d'arrêt du  
nucléaire aux USA**

Annulations de  
commande

Plus de commande  
pendant 30 ans

# TMI-2 : accident grave dans un REP

## Déroulement de l'accident

Automatique - Manuel

**Panne** : Arrêt d'alimentation en eau au secondaire des GV

- ⇒ Démarrage des pompes d'alimentation de secours
- ⇒ Ouverture de la vanne de décharge du pressuriseur (pression)
- ⇒ Chute des barres de sécurité
- ⇒ Fermeture de la vanne de décharge du pressuriseur
- ⇒ Information transmise, mais **la vanne reste ouverte** ! => fuite de l'eau primaire
- ⇒ sur baisse de pression : injection de secours
- ⇒ mesure du niveau du pressuriseur difficile (eau-vapeur) => **arrêt de l'IS**
- ⇒ ébullition du primaire ; **vannes GV restées fermées** => refroidissement insuffisant

# TMI-2 : accident grave dans un REP

## Déroulement de l'accident (suite)

- ⇒ H+ 15 min : rupture des disques du circuit primaire : contamination de l'enceinte
- ⇒ H+ 30 min : cavitation des pompes du circuit primaire => **arrêt opérateur**
- ⇒ le thermosiphon ne fonctionne pas : bulles de vapeur en points hauts
- ⇒ réaction Zircalloy-eau : production d'hydrogène
- ⇒ H + 3h30 : **fermeture vanne pressu ; injection d'eau dans le circuit primaire**
- ⇒ H + 4h30 : reprise en main ; le cœur est refroidi ; **1/3 a fondu !**
- ⇒ activité primaire : **40 PBq/m<sup>3</sup>** ; 2400 m<sup>3</sup> en fond d'enceinte étanche
- ⇒ **rejets gazeux à la cheminée** pour libérer du volume dans les réservoirs de stockage
- ⇒  **Crainte d'explosion d'hydrogène => évacuation de 200.000 personnes**
- ⇒ **invasion de journalistes** qui ont perturbé la gestion technique de la crise

# TMI-2 : accident grave dans un REP

## Retour d'expérience

- ⇒ informations : envoyer le résultat et non pas l'ordre d'exécution
- ⇒ ergonomie : présentation structurée des infos
- ⇒ décompression de l'enceinte : filtres à sable (césium, iode)
- ⇒ recombineurs d'hydrogène
- ⇒ formation du personnel ; autocontrôle (fermeture des vannes)
- ⇒ EDF : ingénieur de sûreté-radioprotection ; dirige quand sort des procédures
- ⇒ approche par état ; procédures H et U
- ⇒ possibilité de refroidir un cœur en fusion ; injection de secours, récupérateur
- ⇒ double enceinte dès le palier P4
- ⇒ communication avec le public, les médias





Provence

# TMI-2 : accident grave dans un REP



**GAENA**  
(ex GASN)

Fiche N° 45

Ind. 3 du 03 mai 2014

*ASSOCIATION DES RETRAITÉS DU GROUPE CEA*

*Groupe Argumentaire sur les Energies Nucléaire et Alternatives*

**L'ACCIDENT DE THREE MILE ISLAND (TMI-2)**

[http://www.energethique.com/file/ARCEA/Argumentaire/Fiche\\_N\\_45\\_TMI.pdf](http://www.energethique.com/file/ARCEA/Argumentaire/Fiche_N_45_TMI.pdf)

# Tchernobyl : culture de sureté et conséquences sociétales

26 avril 1986



# Tchernobyl : Causes

## Techniques

- réacteur instable à basse puissance – effet de vide positif
- insertion de réactivité positive en début de chute des barres
- Pas d'enceinte de confinement
  - En France, les UNGG fonctionnent jusqu'en 1994
  - En Grande-Bretagne, les Magnox fonctionnent jusqu'en 2015

## Humaines

- Conception
- **Exploitation : viol de consignes de sûreté !**

# Tchernobyl : Conséquences

## INSAG-4 : Culture de sûreté

La culture de sûreté est l'ensemble des **caractéristiques** et des **attitudes** qui, dans les **organismes** et chez les **individus**, font que les questions relatives à la sûreté bénéficient, **en priorité**, de l'attention qu'elles méritent **en raison de leur importance**. (*hiérarchisation*)

1989 : création de WANO

1999 : création de WENRA

Loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la  
**transparence et à la sécurité en matière nucléaire**

La transparence en matière nucléaire est l'ensemble des dispositions prises pour garantir le droit du public à une **information fiable et accessible** en matière de sécurité nucléaire.

# Tchernobyl : photos du Sarcophage

fournies par Valentin I. Kupny, Chef de l' « objekt Ukrytie »



Dalle du réacteur renversée



Coulée de combustible en « patte d'éléphant »

# Tchernobyl : photos du Sarcophage

fournies par Valentin I. Kupny, Chef de l' « objekt Ukrytie »



**Poutres supportant le Sarcophage**



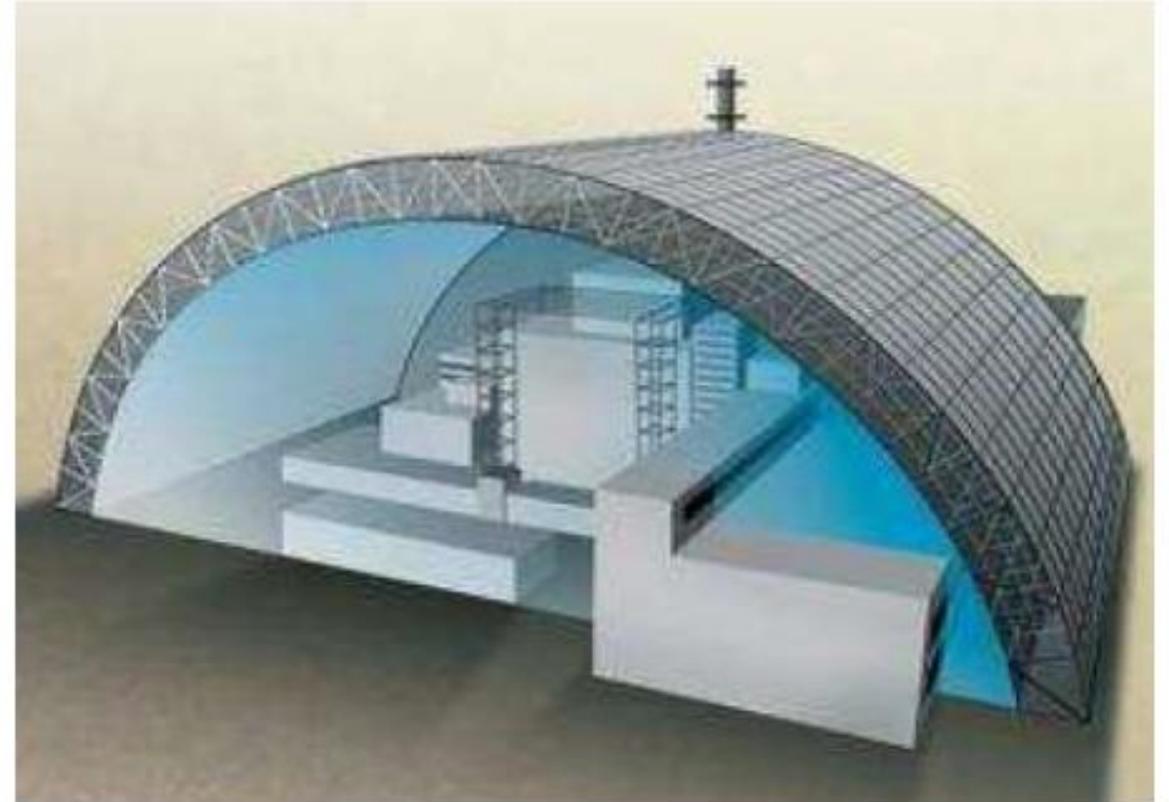
**Coulée de combustible sous le réacteur**

# Tchernobyl : photos du Sarcophage



**Sarcophage et Réacteur N°3**

10 fev 2021



**Projet d'« arche » recouvrant le sarcophage**

RESNUC 2021

16



Provence

# Tchernobyl



Fiche N° 46

Ind. 1 du 28 septembre 2011

*ASSOCIATION DES RETRAITÉS DU GROUPE CEA*

*Groupe Argumentaire sur les Energies Nucléaire et Alternatives*

**L'ACCIDENT DE TCHERNOBYL**

[http://www.energethique.com/file/ARCEA/Argumentaire/  
Fiche N 46 Accident de Tchernobyl.pdf](http://www.energethique.com/file/ARCEA/Argumentaire/Fiche_N_46_Accident_de_Tchernobyl.pdf)

# Fukushima (11 mars 2011)



Provence

avant



**3 lignes de défense ont échoué**

**Marges de sécurité à la conception  
(bon pour séisme, pas pour tsunami)**

**Gestion matérielle de l'accident  
pas de refroidissement possible par  
l'extérieur**

**Pas de prise en compte du REX  
hydrogène (TMI, Tchernobyl)**

**Tsunami**

**après**



10 fev 2021

RESNUC 2021

18

18

**Aucun mort < radioactivité**

**Explosions hydrogène  
(sauf R2)**

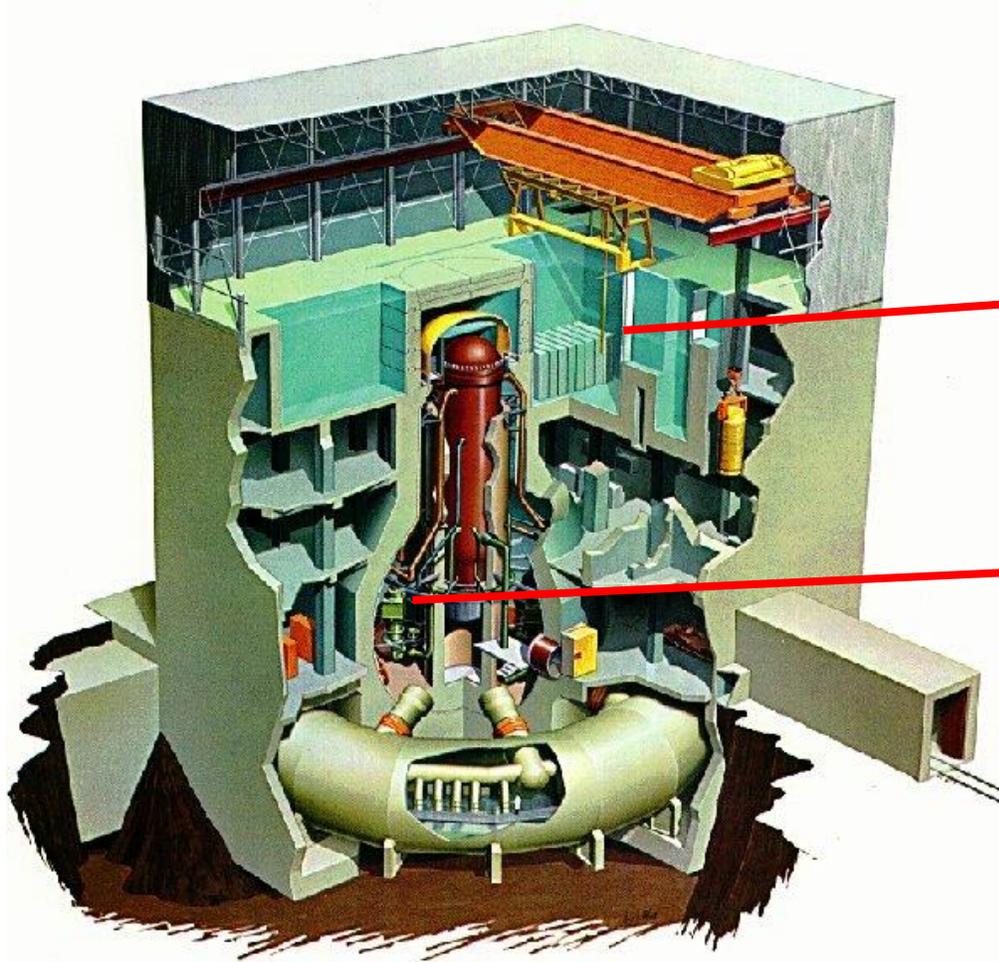
**Fusion du combustible  
R1(70%), R2(33%), R3  
piscines en ébullition**

**100.000 tonnes d'eau FA  
(soubassements)**

**120 tonnes d'eau primaire**



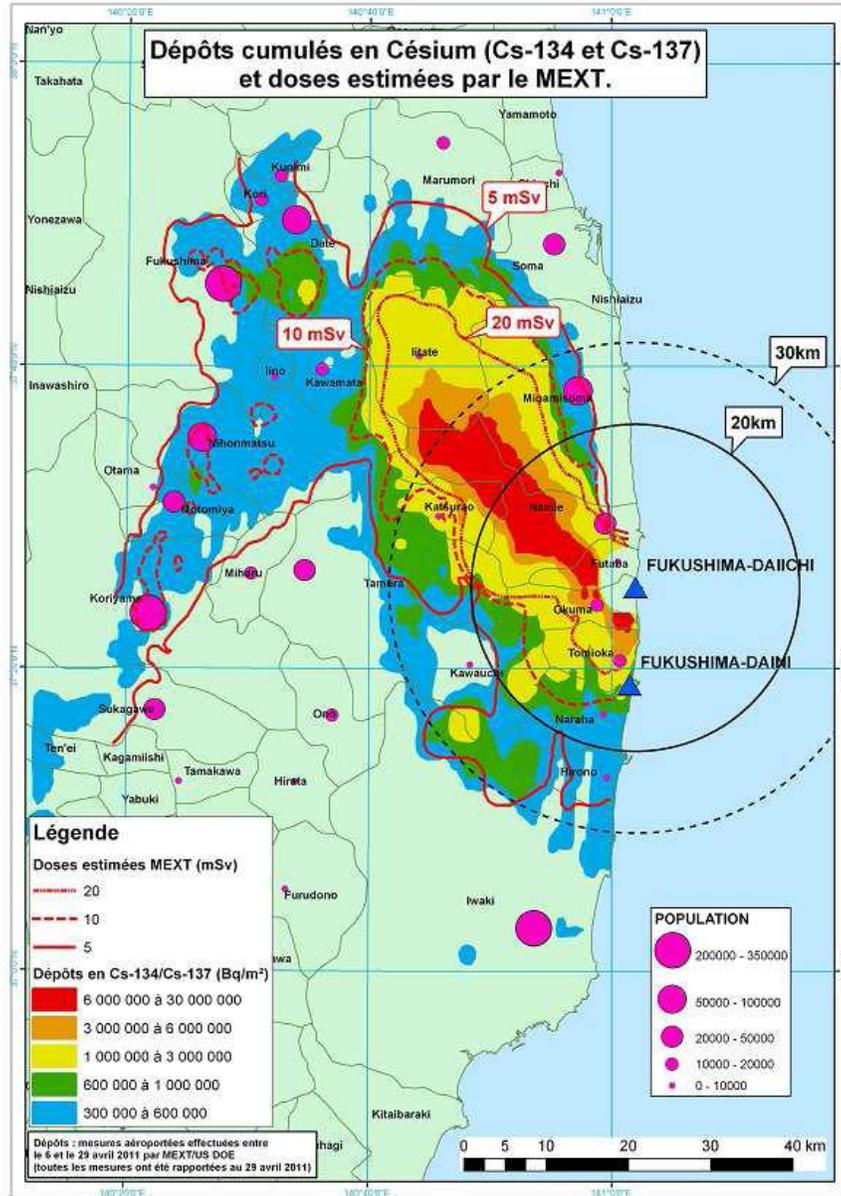
# BWR - réacteur à eau bouillante



**Piscine / risque  
sismique**

**Faible volume de  
l'enceinte  
étanche**

# Fukushima : conséquences au Japon



430.000 m3 d'eau contaminée stockée

impact faible sur l'agriculture, du fait de la saison (sols encore enneigés) et des pratiques d'élevage en stabulation, au moyen de fourrage importé.

80.000 personnes évacuées **préventivement** => impact radiologique faible

**Mais :** traumatisme psycho-sociologique lié au déplacement



Provence



Fiche N° 47

Ind. 1 du 28 septembre 2011

*ASSOCIATION DES RETRAITÉS DU GROUPE CEA  
Groupe Argumentaire sur les Energies Nucléaire et Alternatives*



L'ACCIDENT DE FUKUSHIMA

[http://www.energethique.com/file/ARCEA/Argumentaire/Fiche\\_N\\_47\\_Accident\\_Fukushima.pdf](http://www.energethique.com/file/ARCEA/Argumentaire/Fiche_N_47_Accident_Fukushima.pdf)



Fiche N° 49

Ind. 0 du 30 mars 2014

*ASSOCIATION DES RETRAITÉS DU GROUPE CEA  
GROUPE ARGUMENTAIRE SUR LE NUCLÉAIRE*

FUKUSHIMA, 3 ans après la catastrophe

[http://www.energethique.com/file/ARCEA/Argumentaire/Fiche\\_N\\_49\\_Fukushima\\_3ans\\_apres.pdf](http://www.energethique.com/file/ARCEA/Argumentaire/Fiche_N_49_Fukushima_3ans_apres.pdf)

## Causes : Humaines

**Conception** : digue de 7 m insuffisante (10 tsunamis dévastateurs en 4 siècles)

**Organisation** du contrôle de la sûreté : faible

## Conséquences en France

**Prise en compte** qu'un accident peut toucher tout un site

(ECS : évaluations complémentaires de sûreté)

- **FARN** : force d'action rapide nucléaire
- diesels d'ultime secours (DUS) + réserve d'eau pour l'injection de secours
- bloc de sécurité (BDS) - commande à distance
- Récupérateur de corium ; couche de béton silico-calcaire

⇒ **A réaliser pour la VD4** (prolongation à 50 ans minimum)



Provence



**GAENA**  
(ex GASN)

Fiche N° 50

Ind. 2 du 15 mai 2014

**ASSOCIATION DES RETRAITÉS DU GROUPE CEA**  
*Groupe Argumentaire sur les Energies Nucléaire et Alternatives*

**QU'AVONS-NOUS APPRIS EN FRANCE DES ACCIDENTS NUCLÉAIRES  
DANS LE MONDE ?**

[http://www.energethique.com/file/ARCEA/Argumentaire/  
Fiche\\_N\\_50\\_REX\\_accidents\\_nucleaires.pdf](http://www.energethique.com/file/ARCEA/Argumentaire/Fiche_N_50_REX_accidents_nucleaires.pdf)

## Base de connaissances

Accueil > Base de Connaissances > Installations nucléaires > Les centrales nucléaires > Visites décennales > Quatrième réexamen des réacteurs de 900 MWe

INSTALLATIONS NUCLÉAIRES | SANTÉ ET RADIOPROTECTION | SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT | NUCLÉAIRE ET SOCIÉTÉ | MEDIATHÈQUE | VOS QUESTIONS | GLOSSAIRE

### Quatrième réexamen des réacteurs de 900 MWe Réexamen de sûreté des réacteurs de 900 MWe : Foire aux questions

**Au Sommaire**

- › La phase d'orientation
- › Les quatrièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe
- › Concertation publique sur l'amélioration de la sûreté des réacteurs de 900 MWe
- › Dialogue ANCCLI / IRSN sur l'avis de l'IRSN sur la conformité des réacteurs et la concertation avec le public
- › L'accident grave : la prise en compte du risque de percée du radier
- › Réexamen de sûreté des réacteurs de 900 MWe : Foire aux questions

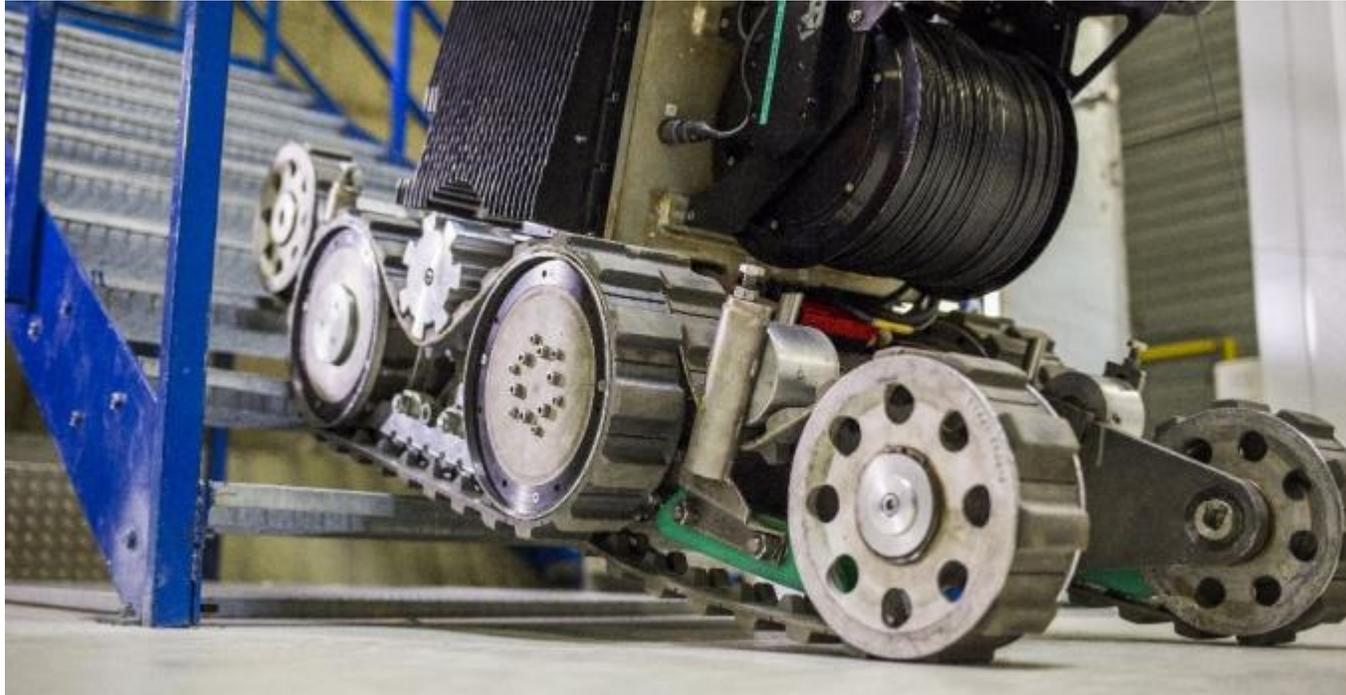


Autres thèmes

- déchets radioactifs
- démantèlement ECS EPR
- Fukushima séismes
- sécurité Tchernobyl
- Three Mile Island transport
- visite décennale crise

[https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations\\_nucleaires/Les-centrales-nucleaires/visites-decennales/Reexamen-900/Pages/5-Reexamen-de-surete-reacteurs-900-MWe-FAQ.aspx#11](https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-centrales-nucleaires/visites-decennales/Reexamen-900/Pages/5-Reexamen-de-surete-reacteurs-900-MWe-FAQ.aspx#11)

# Traitement des déchets résultant d'accidents graves



<https://www.sfen.org/rgn/nucleaire-robotique>

1988 : création d'INTRA - Groupe d'intervention robotique sur accidents - EDF, AREVA, CEA

Robots pour interventions en milieux très irradiants, ou contaminés suite à un accident :  
**Centaure, utilisé à Tchernobyl**

Inspections en service :  
**MIR** pour Superphénix  
**MIS** pour inspecter les surfaces internes des cuves primaires de REP

démantèlement des installations :  
Cuve de KNK-II (sodium, Karlsruhe)

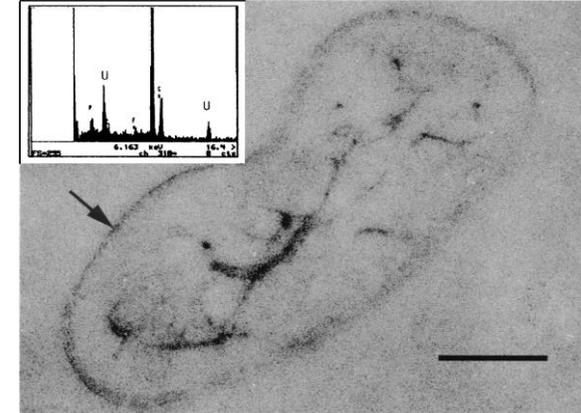
# La réhabilitation des sols contaminés à la suite d'accidents graves

Stratégies de bioremédiation pour traiter les produits contaminants :

- Leur stabilisation / minéralisation afin de **diminuer leur biodisponibilité** grâce à un changement de leur **état redox**,
- Leur extraction des sols en utilisant les **mécanismes nutritifs des plantes** (le césium est un analogue du potassium)
- Leur extraction des solutions polluées en utilisant les propriétés de **“piège à cations”** des parois végétales

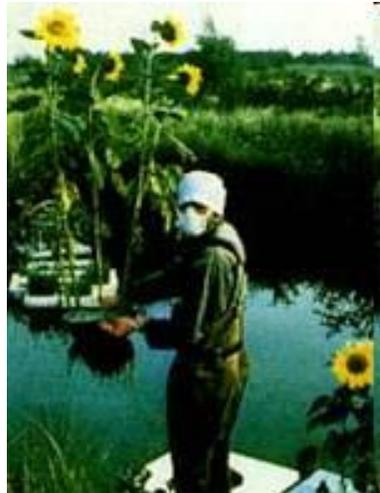
Le coût du traitement est 10 à 100 fois  
moindre qu'avec des procédés chimiques,  
mais les processus sont lents (30 ans)

Utilisation de  
bactéries pour  
fixer  
le technétium,  
l'uranium

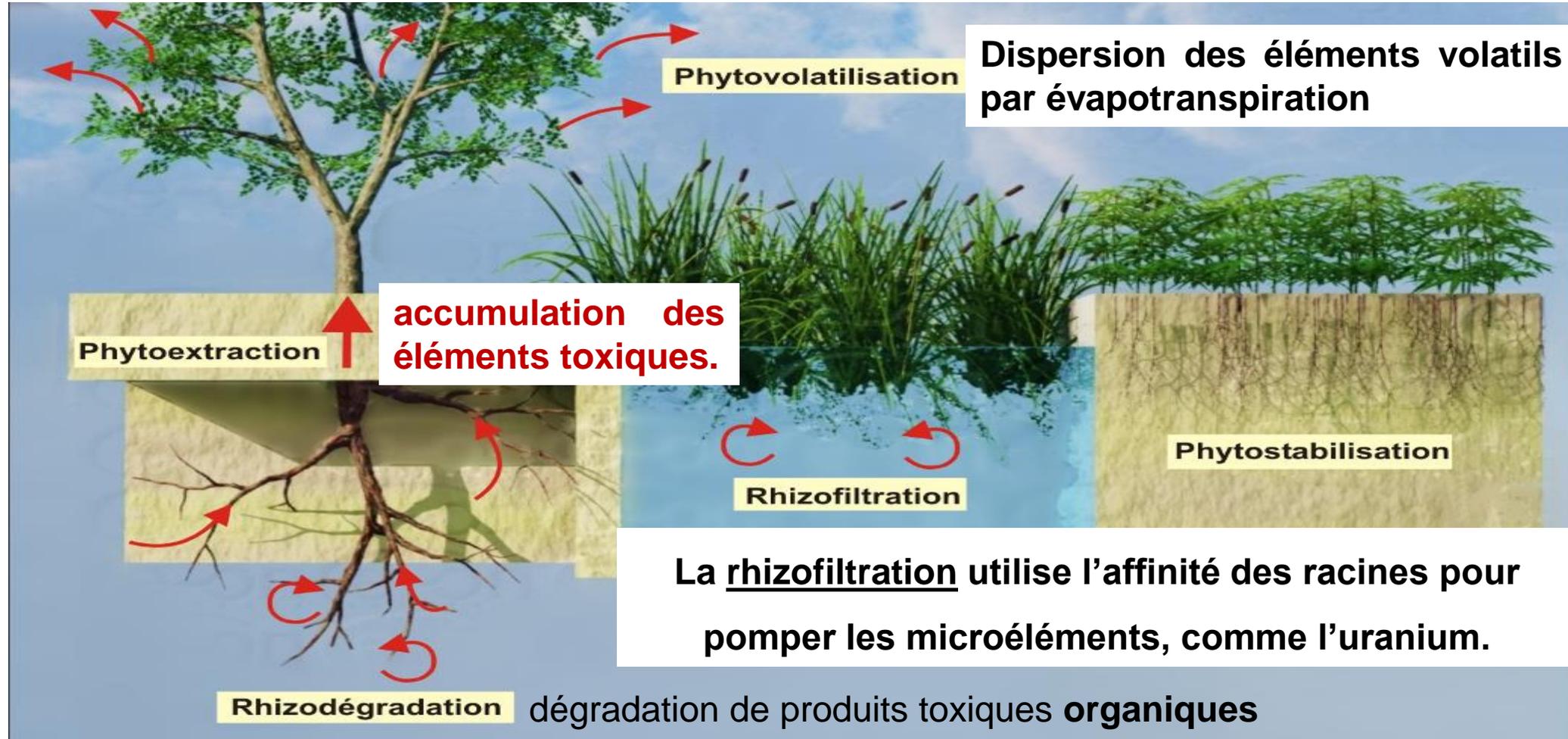


*Pseudomonas*  
CRB5  
granules d'uranium  
associés à des  
polyphosphates

# La réhabilitation des sols contaminés à la suite d'accidents graves



Rhizofiltration *in situ* dans la zone de Tchernobyl



Source : Présentation d'Alain VAVASSEUR, Université d'été SLC, 2013, Aix-en-Provence



Provence



## Transition énergétique :

# Y a-t-il un marché pour des SMR ?

<https://rgn.publications.sfen.org/articles/rgn/abs/2018/04/contents/contents.html>



Provence

# SMR : Small Modular Reactor



**S = Simple, Sûr, Standardisé, de Série**

**Rapsodie : arrêt des pompes sans chute de barre**

**M = Modularité ; Maîtrise de la qualité, du coût et des délais**

**Manœuvrabilité ; Maintenabilité**

**Temps de construction : 3 ans => frais financiers réduits (50% du coût d'un EPR)**

**R = retour d'expérience**

**500 réacteurs de propulsion navale construits dans le monde**

# SMR - Small is beautiful ?



Minimiser les **frais financiers**

Réduire les **coûts** (6 GV à plaques par SMR)

**Transportable** (enceinte étanche # cuve 900)

**Semi-enterré** (séisme, perte de refroidissement)

3 barrières + piscine + merlon

**Multi-usage** (chaleur, électricité);

**Proximité** (< sureté) : chauffage urbain, dessalement d'eau de mer, électrolyse haute température (H2), complément aux sources intermittentes

**Projet Nuward(EDF, TA, Naval Group, CEA)**



Provence

# SMR : le marché



D'ici 2040, le marché est estimé à environ 20 GWe, soit p. ex. 130 SMR de 150 MWe

États-Unis : l'électricité est gérée par plus de 3500 compagnies, avec plus de 400 centrales thermiques à charbon, dont certaines vieillissantes (de 50 à 300 MWe)

## Les territoires isolés

Sibérie, nord du Canada, Alaska, disposant d'une source de refroidissement.

Europe : îles éloignées et territoires isolés : Madère, Açores, Antilles, Réunion, Guyane...

## L'exportation

l'Inde, l'Amérique latine, pays africains ne disposant pas de grand réseaux d'électricité

La fabrication des SMR à partir de composants fabriqués dans divers pays nécessitera la qualification des composants et la certification des usines qui les construisent. Pour exporter les SMR, il sera nécessaire d'obtenir les agréments par pays. Le marché ne verra donc le jour qu'avec une harmonisation des exigences de sûreté, sous l'égide de l'AIEA. Un groupe de travail de 14 vendeurs et acheteurs potentiels s'est mis en place (\*), ainsi qu'un forum des instances de réglementation, en vue de mettre à jour les guides spécifiques aux SMR

ELSMOR aims to create methods and tools for the European stakeholders to assess and verify the safety of light water small modular reactors (LW-SMR) that would be deployed in Europe

VTT / FORTUM  
(Finlande)

CEA / EDF /  
TECHNICATOME /  
IRSN / FRAMATOME  
(France)

CIRTEN / ENEA /  
SIET (Italie)

GRS (Allemagne)  
PSI (Suisse)  
JRC (Europe)  
LEI (Lituanie),  
Energorisk (Ukraine)

**Fabrication** des composants dans divers pays

qualification des composants

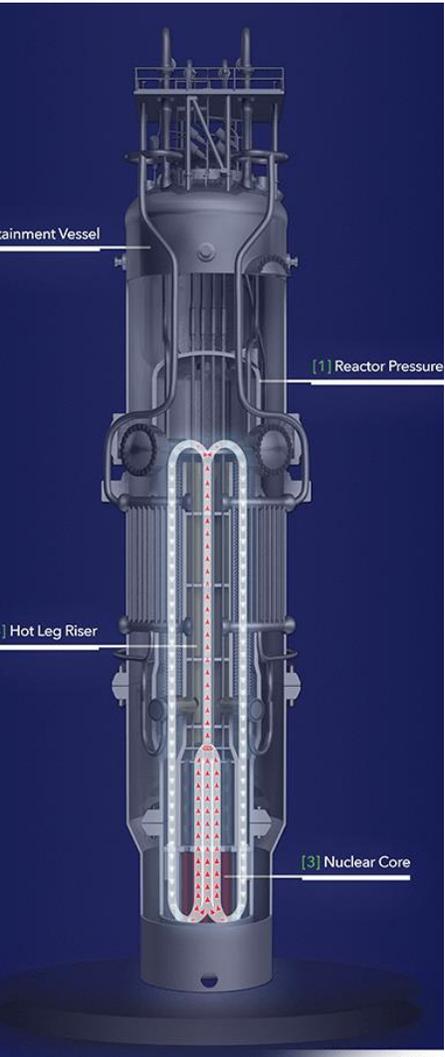
certification des usines

**Agréments** par pays

harmonisation des exigences de sûreté,  
sous l'égide de l'AIEA

# SMR : Les projets américains

(sans Pompe Primaire)



10 fev 2021

## Nuscale

60 MWe

H= 23 m

licence d'exploit° :  
USA, Canada,  
Roy. Uni  
(2021)

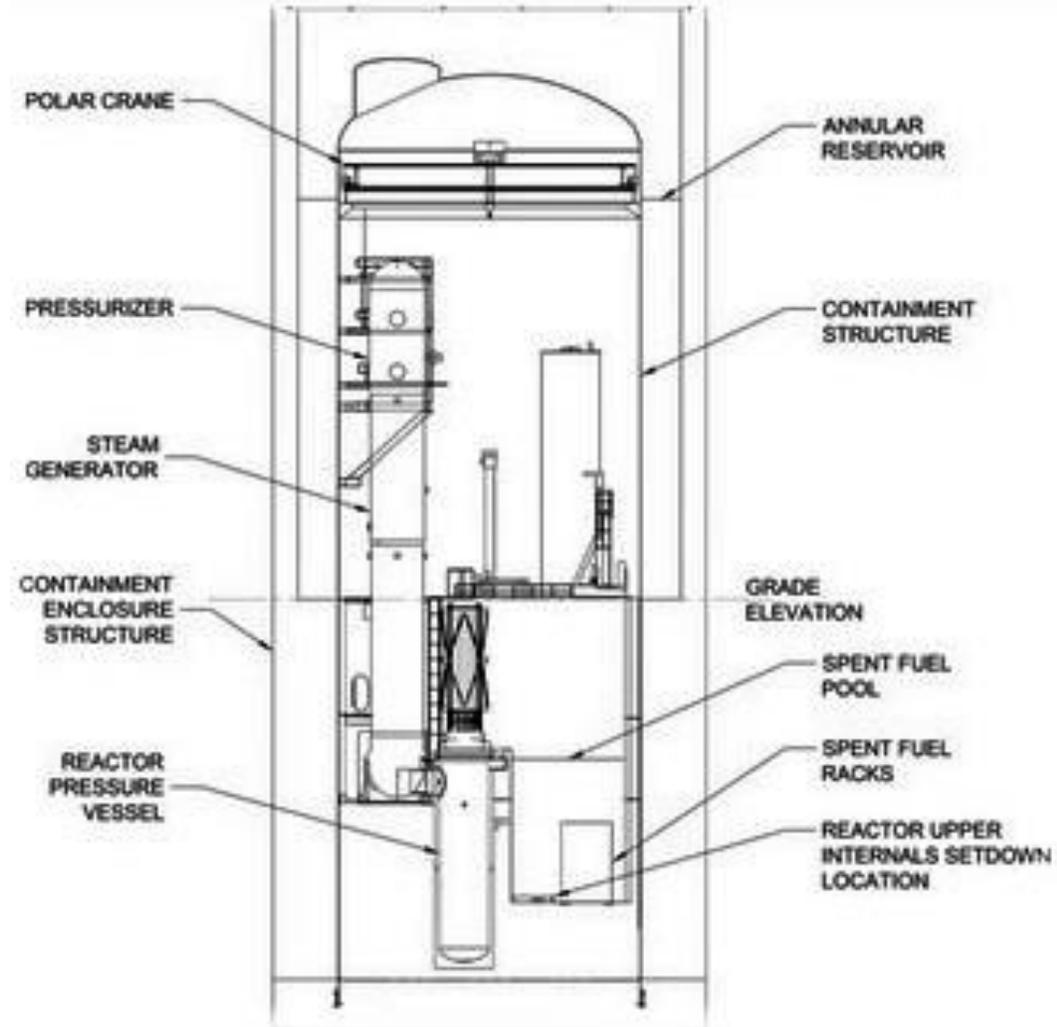
1<sup>er</sup> construit 2026

## Holtec

160 MWe

H = 60 m

Coopération avec  
EnergoAtom  
(Ukraine)  
Mitsubishi et  
Hitachi (Japon)



RESNUC 2021

34



# Programme des événements Sfen Provence 2021



- 2 mars, 18h : visioconférence sur les réacteurs à sels fondus, par Joël Guidez
- 20 mai, 18h : la production d'hydrogène, en collaboration avec l'Association aéronautique et astronautique de France, 3AF groupe Provence
- 21 juin, 18h : la VD4, et la poursuite d'exploitation des REP-900
- 15 octobre, colloque « le développement du nucléaire dans le monde »
- 8 décembre, 18h : le recyclage des métaux TFA issus du démantèlement



Merci pour votre attention !



Contact :

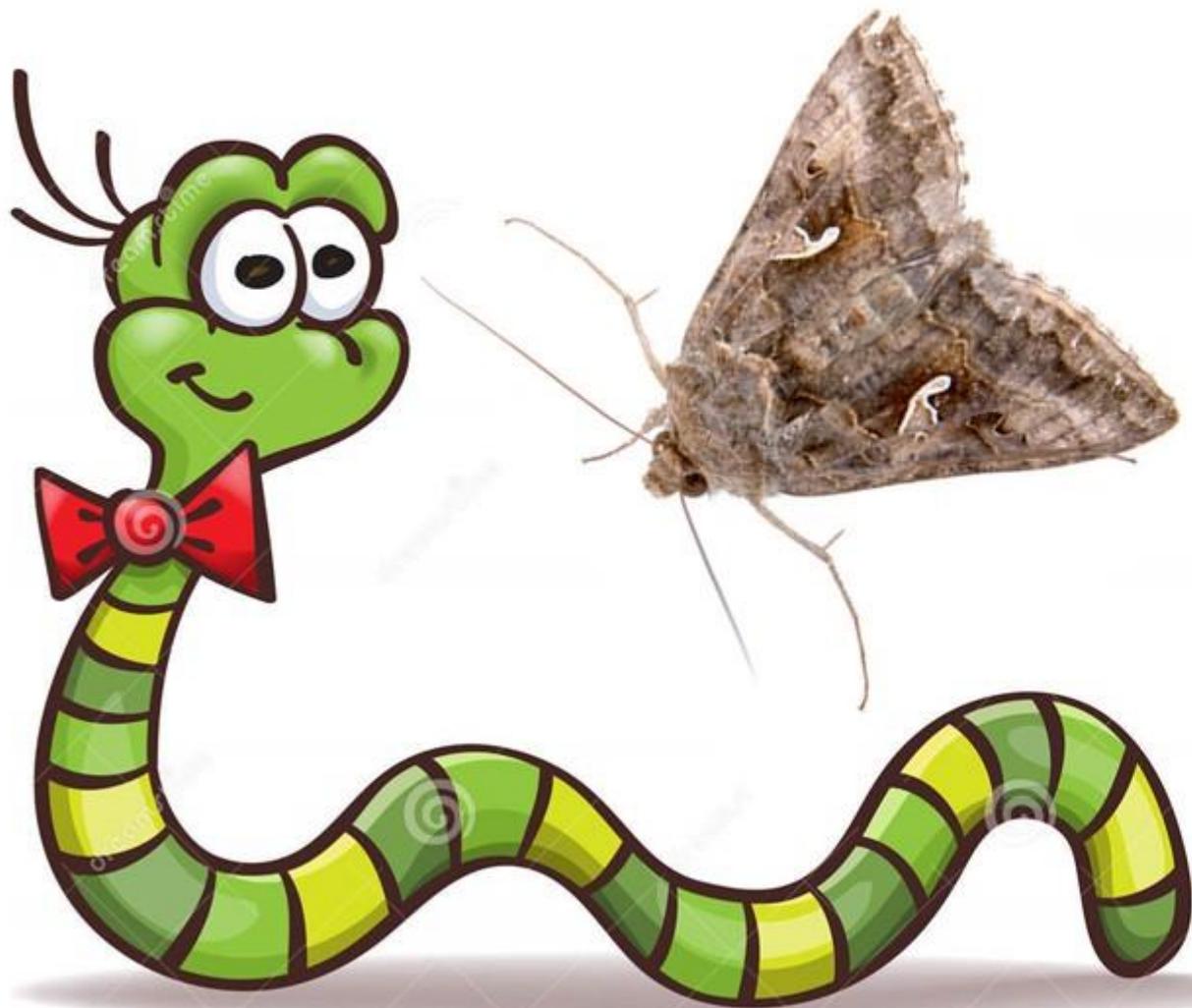
Patrick MICHAÏLLE

Président du Groupe régional Sfen Provence

[sfen.provence@sfen.org](mailto:sfen.provence@sfen.org)

# ANTIMYTHES

 #Patrick MICHAILE



**Sondage BVA publié le 26 juin 2019 :**

69% des Français (et 86% des 18-24 ans) pensent que le nucléaire contribue au réchauffement climatique.

Alors qu'à égalité avec l'éolien, il émet 4 fois moins de CO<sub>2</sub> que le solaire !

Ce qui montre une ignorance fondamentale des phénomènes physiques ; j'ai alors cherché à faire réfléchir les lecteurs sur les mythes colportés par les verts.



Provence

Société française d'énergie nucléaire

Groupe Régional Provence

[www.sfen.org](http://www.sfen.org)



Association des Retraités du groupe CEA

Groupe Argumentaire sur les Énergies - Nucléaire et Alternatives

[www.energethique.com](http://www.energethique.com)

# Annexes

Nucléaire = accidents + déchets ?  
du secret à la transparence

**Patrick MICHAILLE**

Président Sfen-Provence + ARCEA-Cadarache



Provence

# Les déchets nucléaires



**PNGMDR** : plan national de gestion des matières et déchets radioactifs

## Débat en 2020

PNGMDR 1 - La gouvernance de la gestion des matières et des déchets radioactifs : [ici](#).

PNGMDR 2 - L'articulation entre le PNGMDR et les politiques énergétiques : [ici](#).

PNGMDR 3 - **La gestion des matières radioactives** : [ici](#).

PNGMDR 4 - L'entreposage des combustibles usés : [ici](#).

PNGMDR 5 - **La gestion des déchets de très faible activité** : [ici](#).

PNGMDR 6 - La gestion des déchets de faible activité à vie longue : [ici](#).

PNGMDR 7 - **La gestion des déchets de haute activité et moyenne activité à vie longue et les enjeux du projet Cigéo**

PNGMDR 8 - La gestion des catégories particulières de déchets : [ici](#).

PNGMDR 9 - La prise en compte des enjeux transversaux dans la gestion des matières et des déchets : [ici](#).

La gestion des matières radioactives :  
faut-il stocker **l'uranium appauvri** (350.000 t)  
en tant que **déchets** ?

**TFA** : peut-on libérer les TFA valorisables (métaux) après contrôle ?

**CIGEO** : adoption d'une Phase industrielle de pilotage « PHIPIL »

<https://concertation.andra.fr/project/la-phase-industrielle-pilote-de-cigeo/presentation/presentation>



Provence

# Libération des TFA dans le domaine public



1 400 Diffuseurs  
usine EURODIF  
Orano Tricastin  
~ 140 000t

Le four à arc permet  
de séparer les  
impuretés  
contaminées et  
d'homogénéiser le  
bain pour effectuer  
des prélèvements

EDF  
180 GV

~ 100 000t

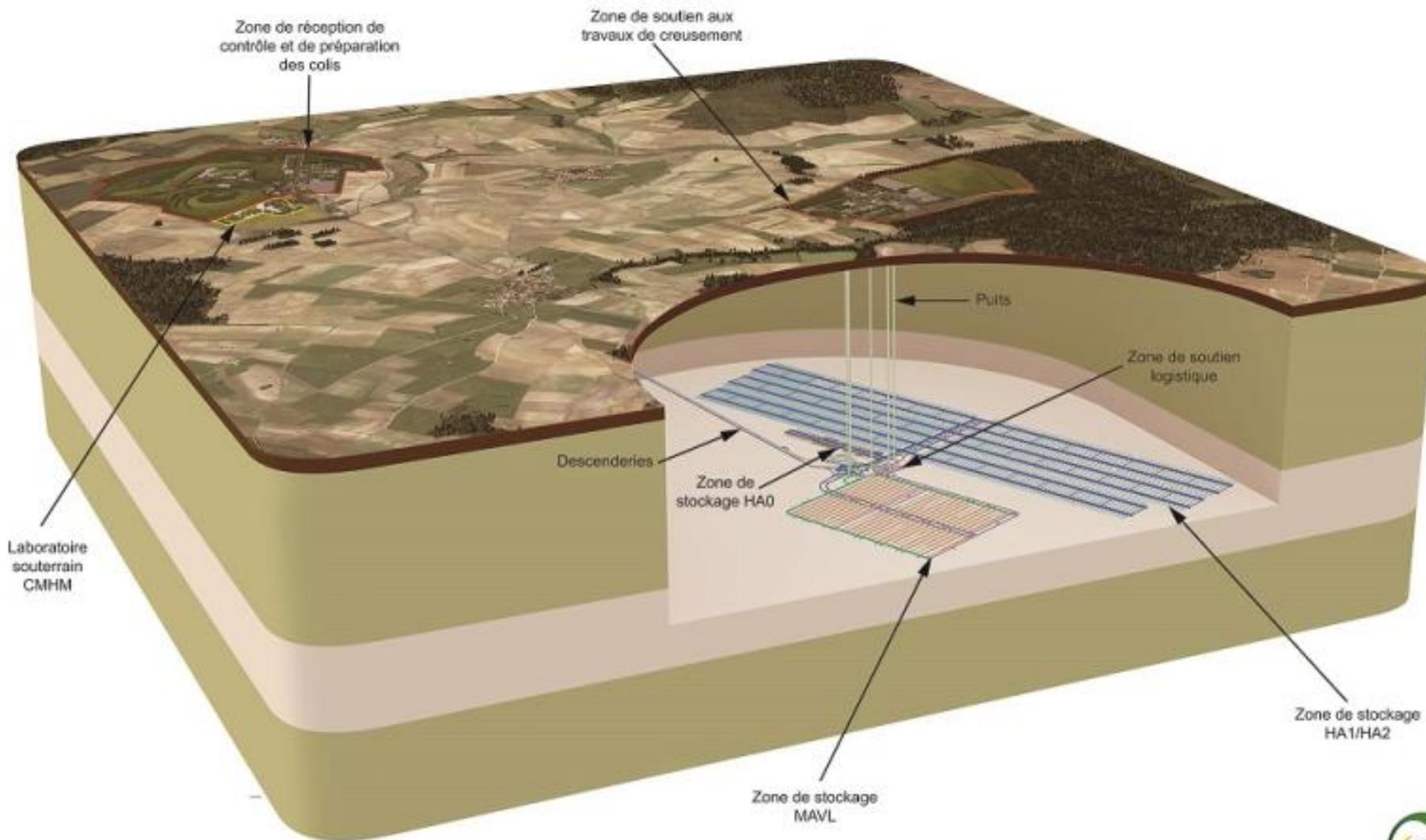


TOTAL  
~ 500 000t

Vrac  
~ 260 000t



# Bloc diagramme 3D Cigéo



C.IM.0EKS.15.0005.C

Echelle des ouvrages non respectée.  
Pendage des formations géologiques non représenté.





Provence

<https://concertation.andra.fr/project/la-phase-industrielle-pilote-de-cigeo/presentation/presentation>

# CIGEO – la PhiPil



La **phase industrielle pilote** vise à :

1) acquérir

- des données **géologiques** et **environnementales**
- du **retour d'expérience** sur le creusement et sur le chantier de construction

2) confirmer les connaissances acquises sur la conception et la sûreté des stockages

3) prendre en main progressivement **l'outil industriel**, valider la **récupérabilité** des colis

4) Faire l'apprentissage et mettre en pratique la **gouvernance citoyenne**

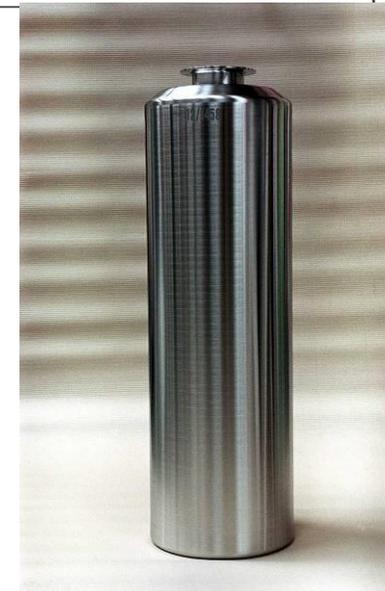
# Les déchets

- Les déchets nucléaires sont **classés** et gérés
- Principe de **zonage** : pas de seuil de libération
- **Négligeables en quantités** par rapport aux déchets industriels

Radioactifs		Non radioactifs	
TFA/FAVC	18.000 m <sup>3</sup>	Déchets ménagers	900 millions tonnes
FAVL	1500 m <sup>3</sup>	Déchets industriels banals	95 millions tonnes
MA		Déchets industriels spéciaux	7 millions tonnes
HA	130 m <sup>3</sup>	Déchets chimiques toxiques	1 million m <sup>3</sup>

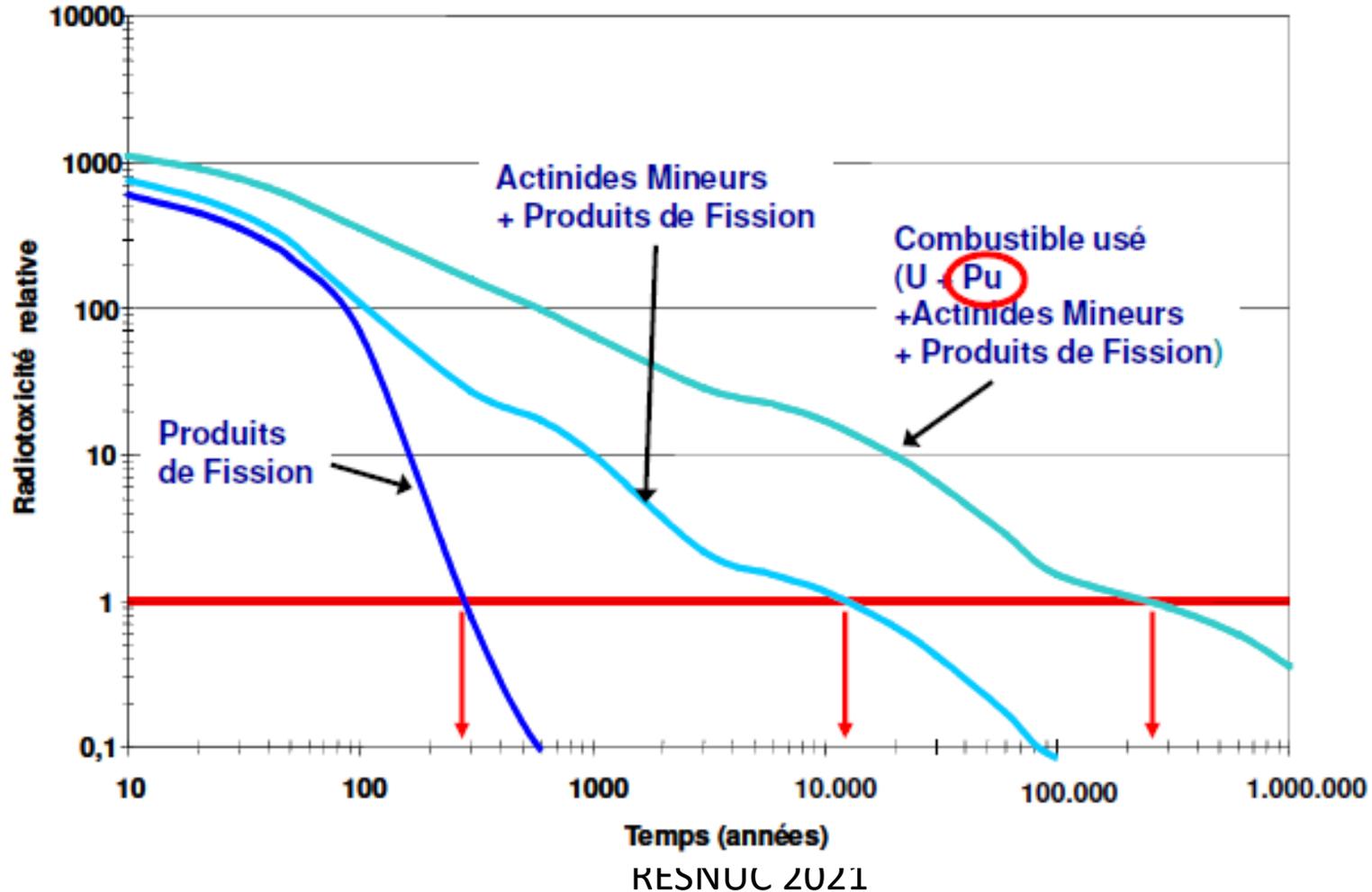
- **1200 t/a** de combustible utilisé
- 1% Pu soit 12 t/a
- 0,1% actinides mineurs (Am, Np, Cm) 1,2 t/a
- 46 t/a de PF dont **3,5 t/a HAVL**

En France, l'uranium et le plutonium sont recyclés ;  
reste # **5 t/a** de déchets vitrifiés et conteneurisés



Le traitement du combustible usé permet de ramener à 10.000 ans la radiotoxicité relative des déchets HAVL par rapport à l'uranium naturel

## Radiotoxicité des déchets en fonction du temps





Provence

# SMR - Small is beautiful ?



- Conception compacte **intégrée** : pompes primaires (PP), générateurs de vapeur (GV), et pressuriseur, sont tous intégrés dans une cuve primaire ne dépassant pas la taille d'une cuve de réacteur de 900 MWe transportable par barge.
- **Série** : 8 GV et 6 PP par réacteur ; pour une centrale de 1200 MWe, cela correspond à des séries de 48 GV et 24 PP.
- Par souci de **compacité**, les GV sont à plaques ; les PP sont à rotor noyé.
- Pas d'utilisation du **bore** soluble pour le contrôle neutronique ; évite une usine de traitement des effluents borés (ainsi que la génération de tritium).
- Chaque assemblage combustible est équipé d'une **grappe de contrôle** ; commandée par un mécanisme qui ne traverse pas le couvercle.

La **dynamique** de réponse à la sollicitation du réseau en est accrue : réserve 1re et 2re) face aux ENRi

**Sûreté** : enceinte métallique qui joue le rôle de l'enceinte étanche des REP,

- Le **contrôle de son étanchéité** est plus facile qu'avec une enceinte de béton.
- Elle est immergée dans un **bassin d'eau** qui contribue à confiner les produits de fission en cas d'accident.
- Ainsi, la puissance résiduelle est évacuée par des **systemes passifs**

**Taille** : 16 m de hauteur, contre 23 m pour NuScale (60 MWe) et 60 m pour Holtec (160 Mwe ; grâce aux pompes / convection