

**Assemblée générale du CLIS de Bure**

**Situation internationale en matière de gestion  
des déchets radioactifs  
de haute activité et à vie longue**

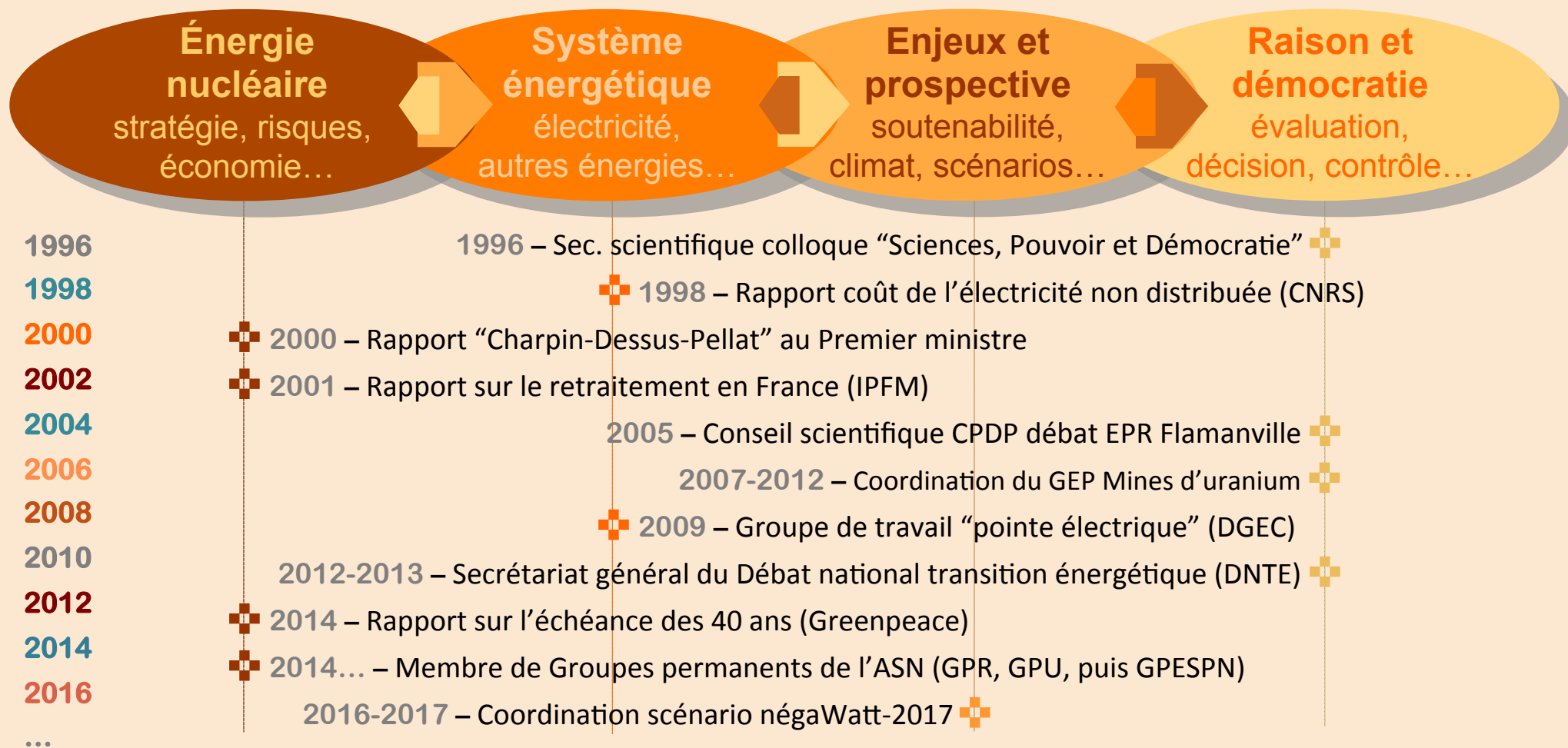
**Yves Maignac**

Directeur de **WISE-Paris**  
Consultant international sur le nucléaire et l'énergie

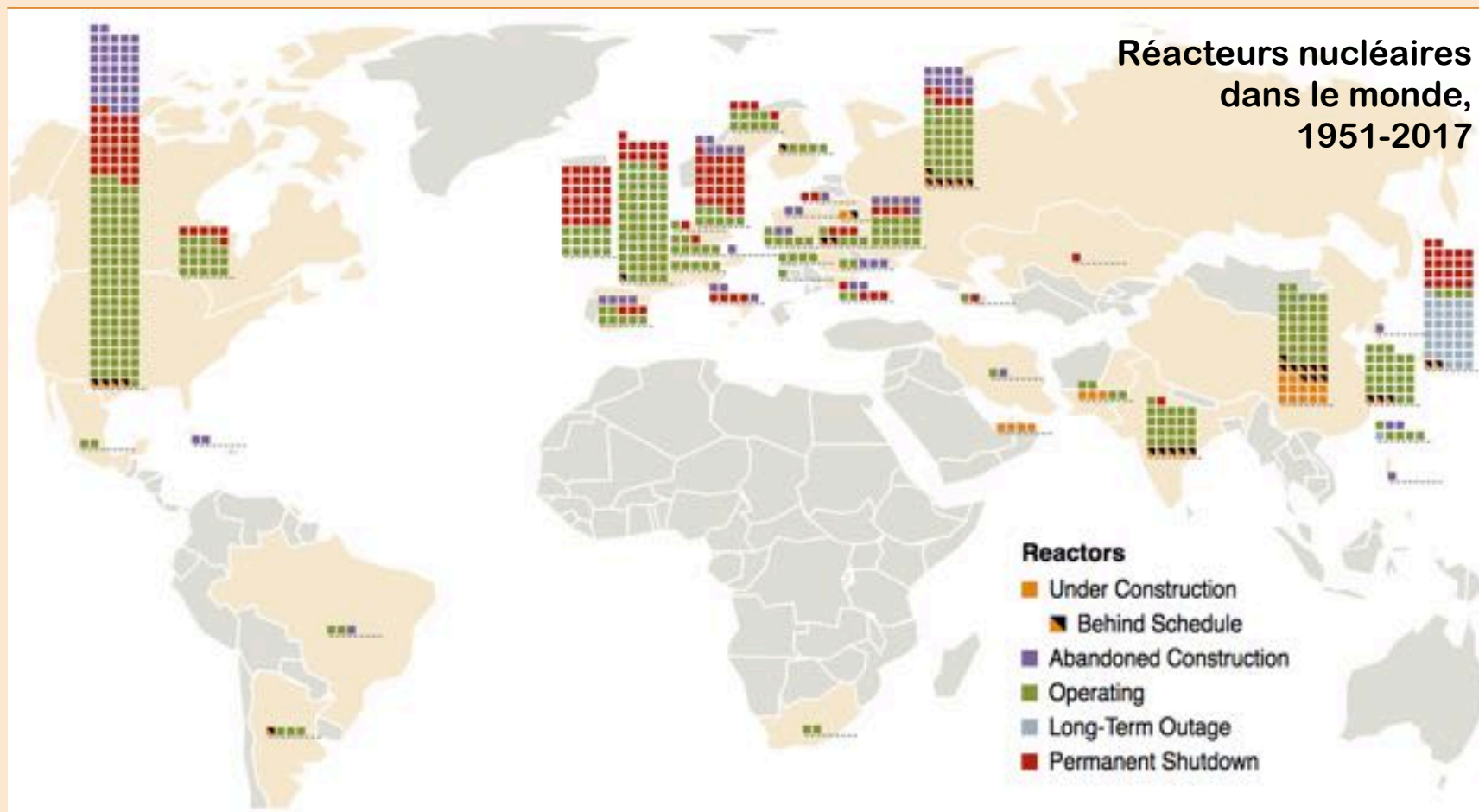
*Comité Local d'Information et de Suivi du laboratoire de Bure*

*Salle des fêtes de Bure, 18 décembre 2017*

- ✦ Une **agence indépendante** d'information, étude, conseil créée en 1983 (assoc. loi 1901)
- ✦ Une expertise **systemique** et **critique** non institutionnelle mais professionnalisée
- ✦ Un positionnement non militant mais un engagement fort pour l'**expertise pluraliste**

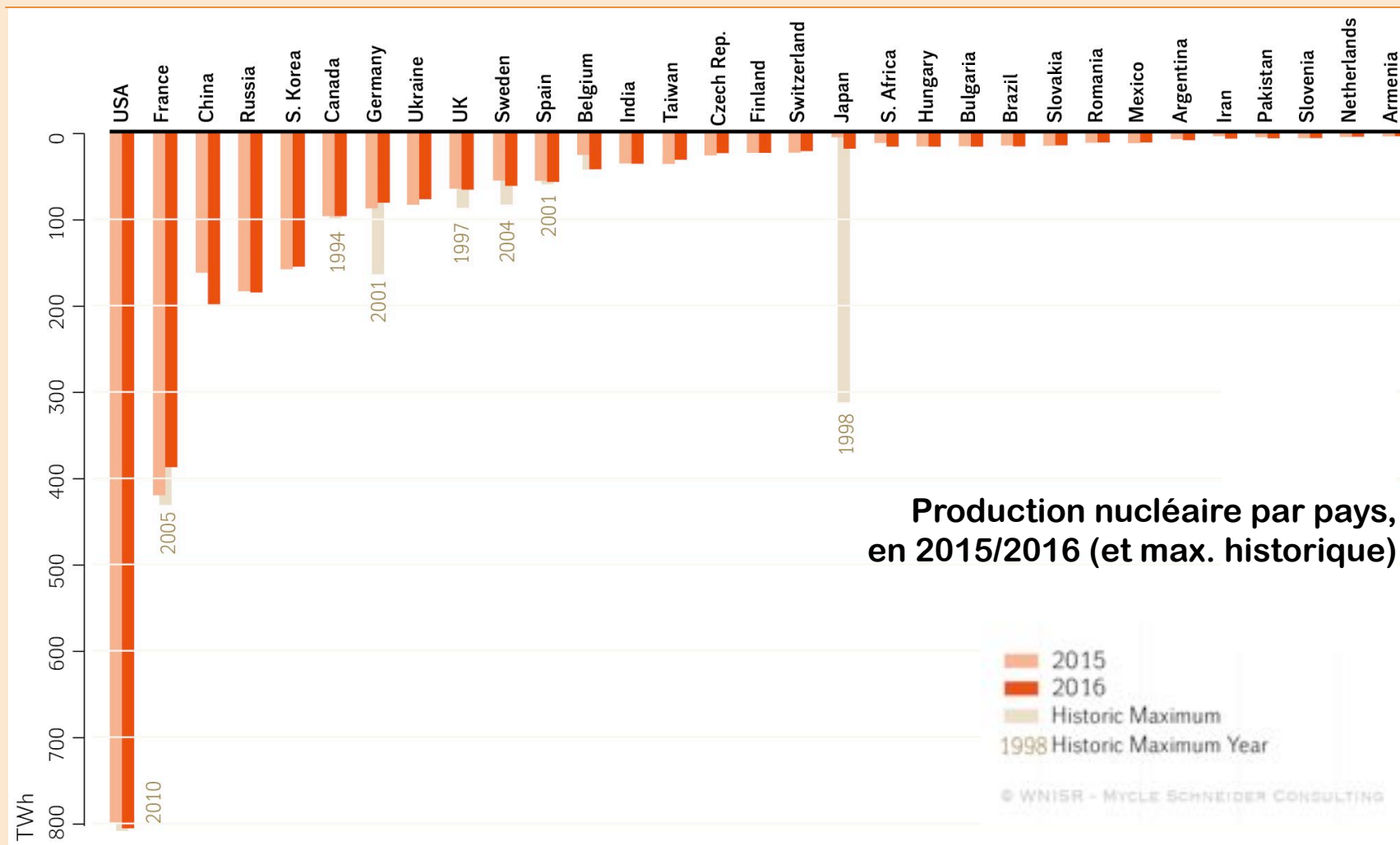


- ❖ 32 pays utilisateurs passés ou présents de production électronucléaire
- ❖ Des programmes extrêmement variés par leur taille et leur chronique



Source : *Global nuclear power database*, via *World Nuclear Industry Status Report*, avec AIEA (PRIS), 2017

Des pays extrêmement divers, avec des programmes d'ampleur très variée

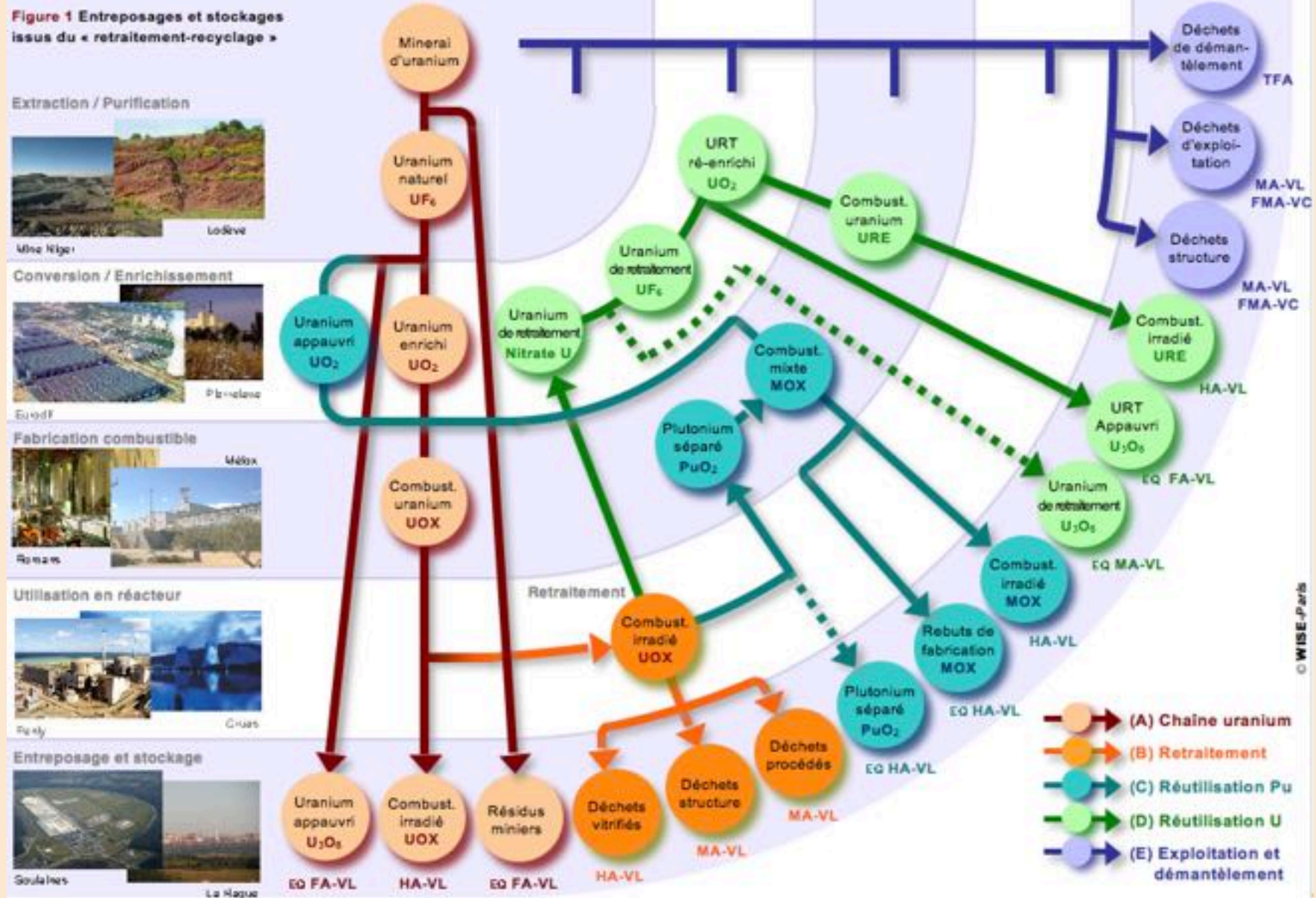


Source : World Nuclear Industry Status Report, avec AIEA (PRIS), 2017

- ✦ Un choix stratégique entre deux options de base pour la gestion des combustibles irradiés, stockage direct ou “retraitement-recyclage”
- ✦ Le stockage direct : le combustible est entreposé pendant quelques décennies, puis stocké en couche géologique (Finlande, Suède, Canada...) ;
- ✦ Le recyclage complet ou partiel : le combustible est retraité, l'uranium et le plutonium sont (mono)recyclés en réacteurs à eau pressurisée ; les déchets HAVL issus de ce retraitement et les combustibles MOX ou non recyclés sont entreposés “en attente” (France, Japon...) ;
- ✦ Les situations “wait and see” : un entreposage de longue durée est prévu (plusieurs décennies), en attendant une visibilité sur le futur de l'énergie nucléaire et/ou le temps nécessaire au développement de techniques de traitement, de stockage et de choix de site (Etats-unis, Corée du Sud,...), éventuellement partagé entre plusieurs pays (Pays-Bas, Roumanie, Italie, Croatie-Slovénie,...).
- ✦ L'AIEA et l'Union européenne spécifient que le stockage géologique est la solution de référence pour garantir la sûreté à long terme de la gestion des déchets radioactifs HaVL et des combustibles usés, s'ils sont considérés comme déchets.



Figure 1 Entreposages et stockages issus du « retraitement-recyclage »



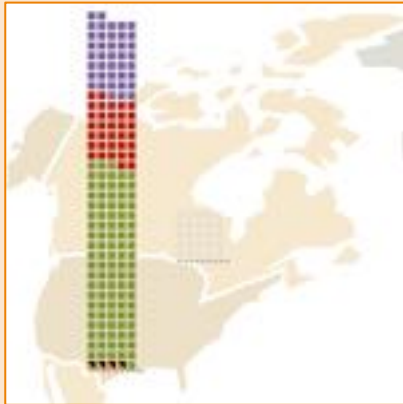
## Cadre légal international

- ✦ Agence internationale de l'énergie atomique :

**Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible utilisé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs, 1997**

- ✦ *« Chaque Partie contractante prend les mesures appropriées pour que, à tous les stades de la gestion du combustible utilisé, les individus, la société et l'environnement soient protégés de manière adéquate contre les risques radiologiques »*
- ✦ *« Chaque Partie contractante prend les mesures appropriées pour que, à tous les stades de la gestion des déchets radioactifs, les individus, la société et l'environnement soient protégés de manière adéquate contre les risques radiologiques et autres »*
- ✦ *« S'efforcer d'éviter les actions dont les effets raisonnablement prévisibles sur les générations futures sont supérieurs à ceux qui sont admis pour la génération actuelle »*
- ✦ *« Chercher à éviter d'imposer des contraintes excessives aux générations futures »*

## États-Unis



### 177 réacteurs

4 en construction

99 en exploitation

34 en arrêt définitif

40 constructions

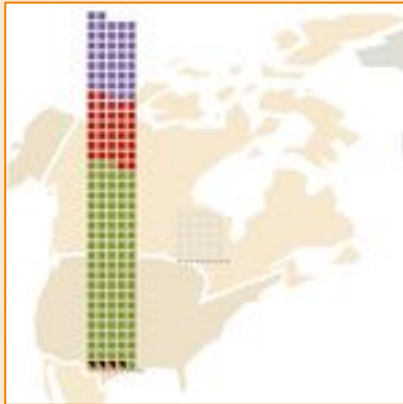
abandonnées

- ✦ Yucca Mountain (Nevada) : site principal étudié et partiellement construit pour le stockage des combustibles usés
- ✦ 2002 : Yucca Mountain Development Act approuvé par le Congrès et signé par le Président Bush
- ✦ 06/2008 : le DOE soumet à NRC une demande d'autorisation pour le site. L'administration Obama arrête le projet
- ✦ 2017 : le président Trump demande 120 M\$ dans le budget fédéral pour l'exercice fiscal 2018 pour redémarrer les procédures d'octroi d'autorisation





## États-Unis



### 177 réacteurs

4 en construction

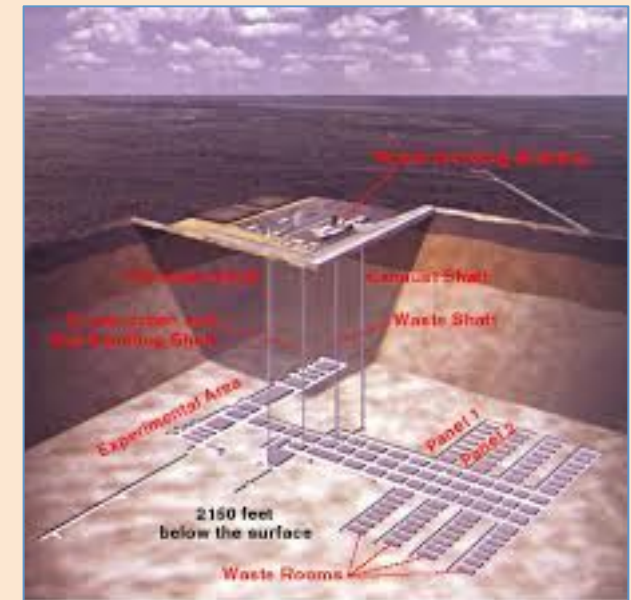
99 en exploitation

34 en arrêt définitif

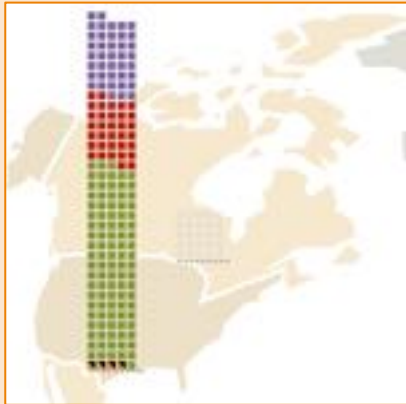
40 constructions

abandonnées

- ❖ WIPP (Nouveau Mexique) : stockage des déchets transuraniens du programme militaire
- ❖ 1999 : début des activités
- ❖ 02/2014: suspension des activités suite à 2 incidents graves
  - incendie sur un camion d'extraction du sel, dans la zone nord du site (expérimentations) à proximité d'un puits
  - contamination de l'air dans une cavité souterraine par de l'américium et du plutonium suite à un incendie de colis
- ❖ 04/2017: reprise de l'envoi des déchets militaires TRU vers le WIPP



## États-Unis



### 177 réacteurs

4 en construction

99 en exploitation

34 en arrêt définitif

40 constructions abandonnées

- ✦ Yucca Mountain : après la réduction drastique du budget par Obama, création d'une commission pour proposer des alternatives au projet
- ✦ Liste de recommandations au gouvernement :
  - le stockage géologique profond est une composante essentielle du système de gestion des HAVL
  - développer une ou plusieurs installations d'entreposage et de stockage géologique)
- ✦ « *L'administration espère que le Congrès autorisera un plan sur dix ans qui prévoit un centre pilote d'entreposage en 2021, des avancées vers une installation d'entreposage plus grande vers 2025 et un centre de stockage vers 2048. »*

## Canada



### 25 réacteurs:

19 en exploitation

6 en arrêt définitif

- ✦ Stockage géologique prévu pour les combustibles usés
- ✦ Site pas encore défini. L'agence NWMO-SGDN doit identifier un site
- ✦ NWMO-SGDN a mis en place un processus impliquant que les communautés d'une région géologiquement pertinente prennent l'initiative d'une candidature

SGDN-NWMO a dialogué pour trouver une collectivité favorable à l'accueil des combustibles usés. Site probablement dans l'Ontario, Québec, Nouveau Brunswick ou Saskatchewan

Plus de 20 municipalités volontaires

Le site devrait être opérationnel en 2035

- ✦ 8 sites potentiels identifiés (dont un site également identifié pour le stockage des FMA)

En juillet 2017, sept des vingt-deux collectivités intéressées à l'origine participaient encore au processus de sélection d'un emplacement

- ✦ Décision finale sur le choix du site prévue dans quelques années

### Canada



- ✦ 1982 : création du laboratoire Pinawa-Whiteshell (Manitoba), pour l'étude de la faisabilité d'évacuation sûre des déchets dans une roche granitique
- ✦ Le site n'est plus opérationnel

**25 réacteurs**

19 en exploitation

6 en arrêt définitif



## Chine



**57 réacteurs**

21 en construction

36 en exploitation

- ✦ Solution visée pour les combustibles usés ou déchets HA : stockage géologique
- ✦ 3 sites potentiels définis, choix global de la roche hôte en granite
- ✦ Un site actuellement étudié : Beishan (désert de Gobi)
- ✦ Études préalables à l'implantation d'un laboratoire souterrain en cours, le début de construction était prévu en 2016, pour une ouverture en 2020
- ✦ Calendrier prévu pour l'ouverture du stockage : 2050.



Landscape of Beishan site



## Corée du Sud



**28 réacteurs**

3 en construction

25 en exploitation

- ✦ Solution préférentielle de stockage géologique, mais stratégie d'entreposage d'attente
- ✦ Pas de site pré-déterminé à ce stade pour un éventuel stockage
- ✦ 2016 : lancement d'un programme d'étude géologique pendant 12 ans pour sélectionner un site vers 2028  
Il est prévu ensuite 24 ans de construction
- ✦ L'option d'un stockage à l'étranger est (ou a été) également considérée
- ✦ La stratégie pourrait être redéfinie dans le cadre du changement de politique énergétique du pays (sortie à long terme du nucléaire)

## Japon



### 62 réacteurs

2 en construction

4 en exploitation

34 en arrêt long

22 en arrêt définitif

- ✦ 2 laboratoires de recherche en construction pour le stockage géologique
- ✦ Mizunami (roche cristalline): -500m atteint sur les 1000 prévus.  
Hydrologie et mécanique des roches
- ✦ Horonobe (roche sédimentaire): -350m atteint sur 500 m prévus.  
Etudes hydrologie et mesures hydrochimiques
- ✦ Pas de site sélectionné pour le stockage. Exploitation prévue en 2035
- ✦ Appel à candidature en 2002, mais sans succès  
Les projets rencontrent une forte opposition des populations locales

## Inde



### 27 réacteurs

5 en construction  
21 en exploitation  
1 en arrêt définitif

- ✦ Pas de stratégie très avancée à ce stade
- ✦ Étude expérimentale de la réponse de la roche à une charge thermique dans une ancienne mine d'or à -1000 m
- ✦ Autres expériences en cours ou prévues dans d'autres mines abandonnées
- ✦ Sites potentiels identifiés dans le granite
- ✦ Site opérationnel prévu dans 30 à 40 ans

## Taiwan



### 8 réacteurs

5 en exploitation

1 en arrêt long

2 constructions

abandonnées

- ❖ Stratégie d'entreposage à sec à moyen terme, et de stockage géologique à long terme
- ❖ 1983 : création d'une task force "Research Plan on Spent Nuclear Fuel"
- ❖ 2002 : "Nuclear Materials and Radioactive Waste Management Act" qui rend les producteurs de déchets HAVL responsables de la mise en œuvre d'un stockage final. Ils doivent soumettre un plan dans les deux ans qui suivent l'application de la loi
- ❖ 12/2004: TPC (Taiwan power compagny) soumet son plan à l'AEC (Atomic Energy Council)
- ❖ 07/2006 : le plan est approuvé. Le plan comporte 5 phases: caractérisation et évaluation des roches hôtes potentielles, étude sur le site candidat et confirmation, études détaillées et essais, design et license, construction. Le stockage géologique est censé être opérationnel en 2055
- ❖ TPC doit démontrer pour fin 2017 la possibilité technique d'un stockage final à Taiwan (avec évaluation par une peer revue)
- ❖ Le site doit répondre à certaines caractéristiques, notamment : pas de faille activée, ou pas de zone de haute densité de population

## Russie



### 59 réacteurs

6 en construction  
35 en exploitation  
6 en arrêt définitif  
12 constructions  
abandonnées

- ✦ Loi en 2011 :
  - limite les quantités destinées à l'entreposage, et sa durée
  - définit le conditionnement des déchets pour le stockage, le transfert des déchets à un opérateur nouvellement créé et les mécanismes de financement
- ✦ Pas de site disponible actuellement
- ✦ Le massif granitique de Nizhnekansky pourrait accueillir un laboratoire souterrain
- ✦ La construction d'un site de stockage pourrait être décidée vers 2025
- ✦ La première phase prévoit d'accueillir 20 000 tonnes de MA et HAVL en assurant la récupérabilité



## Cadre légal européen (1/2)

- ✚ Directive du conseil de l'UE sur la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs, 2011/70/Euratom
- ✚ « *Afin d'améliorer de manière continue la sûreté de la gestion des déchets radioactifs dans l'union Européenne, la directive demande :*
  - *de mettre en place, par chaque état membre, un plan national de gestion du combustible usé et des déchets radioactifs accessible au public et devant comprendre un inventaire des dispositions de financement ou un cadre réglementaire ;*
  - *de mettre en œuvre des politiques de gestion des déchets qui devront se faire de manière transparente et associer le public, notamment à l'occasion des décisions d'implantation d'un stockage ;*
  - *de renforcer l'usage de revue par les pairs. »*
- ✚ La directive indique que « **le stockage géologique est la solution de référence pour la gestion des déchets de haute activité à vie longue** »

## Cadre légal européen (2/2)

- ✦ *« Les États membres sont responsables en dernier ressort de la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs. Ils doivent établir, mettre en œuvre et maintenir à jour un programme national pour la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs couvrant toutes les étapes de la gestion, depuis la production jusqu'au stockage définitif. Ces programmes nationaux doivent être réexaminés et mis à jour régulièrement. »*
- ✦ *« Ils sont chargés de mettre en place des politiques nationales qui :*
  - *maintiennent à un niveau le plus bas possible la production de déchets radioactifs ;*
  - *assurent l'interdépendance des différentes étapes de la production et de la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs ;*
  - *gèrent de manière sûre le combustible usé et les déchets radioactifs, y compris sur le long terme ;*
  - *mettent en œuvre les mesures adéquates selon une approche graduée ;*
  - *régissent toutes les étapes de la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs. »*
- ✦ *« Les États ont le devoir de stocker définitivement leurs déchets sur leur propre territoire, sauf s'ils ont conclu des accords avec d'autres États membres leur permettant d'utiliser les installations de stockage de ces derniers. Cependant, la responsabilité continue à incomber à l'État d'origine »*

## Allemagne



**42 réacteurs**

8 en exploitation

28 en arrêt définitif

6 constructions

abandonnées

❖ Asse : ancienne mine exploitée dans un dôme de sel

- Stockage FAVC et MAVC jusqu'en 1978

- Entrées d'eau dans le dôme, décision en 2008 de retirer les déchets et d'assainir la mine

- Programme de reprise reste à l'étude, les expertises et la concertation se poursuivent pour décider de la solution de gestion

- Utilisée comme laboratoire pour l'étude des effets thermiques sur le sel entourant des conteneurs simulant des HAVL



### Allemagne



#### 42 réacteurs

8 en exploitation

28 en arrêt définitif

6 constructions

abandonnées

✚ Gorleben : dôme salin, -800 m

- Étudié depuis 30 ans pour du stockage de tout type de déchets et combustibles usés

- Laboratoire -840 m opérationnel entre 1998 et 2000

- Moratoire sur l'utilisation du laboratoire en 2000



## Allemagne



### 42 réacteurs

8 en exploitation

28 en arrêt définitif

6 constructions

abandonnées

### ✦ 2013 : nouvelle loi fédérale

- étude de toutes les régions qui disposent de roche hôte adaptée
- Gorleben pas exclu, mais au même titre que d'autres régions
- Une commission pluridisciplinaire étudiera les question du stockage, y compris la pertinence du stockage géologique, avant processus de sélection d'un site
- Le site serait choisi en 2031, pour un début de construction en 2040\$

### ✦ En attendant, les combustibles usés et les déchets HAVL sont entreposés sur plusieurs sites, incluant les centrales nucléaire

Les verres de retraitement sont entreposés en surface à Gorleben



## Belgique



### 8 réacteurs

7 en exploitation

1 en arrêt définitif

- ❖ Loi du 3 juin 2014 : les déchets doivent à terme être placés en stockage, sans intention de les reprendre

La réversibilité et la récupérabilité doivent toutefois être garanties pendant une période à définir.

- ❖ Le SCK-CEN et ONDRAF/NIRAS étudient le stockage géologique en argile depuis plus de 40 ans

- ❖ 1982 : laboratoire Hades -225m, couche d'argile, à Mol

Certaines recherches/expériences durent depuis 30 ans (techniques de construction, corrosion, migration des RN, comportement des déchets, instrumentation)

Cadre international, participation de l'Andra

Expériences avec sources radioactives et verres

- ❖ 05/2015 : ONDRAF/NIRAS ont proposé aux autorités les bases d'une stratégie de gestion des déchets à vie longue, fondée sur le stockage géologique dans un site unique dans l'argile

## Finlande



### 5 réacteurs

1 en construction  
4 en exploitation

- ✦ Solution de référence : stockage géologique en granite
- ✦ 2003 : début des travaux de construction d'un laboratoire de recherche à -400 m (granite) sur le site d'Onkalo (Olkiluoto)
- ✦ 12/2012 : demande de construction du stockage sur le même site  
Construction des tunnels d'accès au laboratoire, et donc au centre de stockage futur, terminée  
Inventaire prévu : 9000 tonnes de CU des réacteurs en services, + CU de 2 réacteurs à construire dans le futur
- ✦ 11/2015 : le gouvernement accorde à Posiva Oy l'autorisation pour la construction du stockage géologique
- ✦ 11/2016 : STUK conclut que Posiva Oy est en mesure de démarrer la construction  
Contrat (20M€) Posiva Oy/Yit Construction Ltd. pour le creusement des premiers tunnels. Durée estimée à 2 ans ½  
12/2016 : début du creusement par Yit
- ✦ Creusements et tests de scellement réalisés
- ✦ Début de l'exploitation du stockage prévu en 2022

## Pays-Bas



### 2 réacteurs

1 en exploitation

1 en arrêt définitif

- ✦ Stratégie retenue : entreposage pendant 1 siècle
- ✦ Programme de recherche Opera qui étudie les conditions qui permettront le stockage dans l'argile ou le sel après cette période  
Intègre des aspects scientifiques, technologiques et sociétaux
- ✦ Une solution régionale commune à plusieurs pays (dont l'Italie) est envisagée pour optimiser la gestion des déchets et partager les coûts

## Royaume-Uni



**45 réacteurs**

15 en exploitation

30 en arrêt définitif

- ❖ Une stratégie visant le stockage géologique mais pas de site identifié  
Plusieurs localités sollicitées se sont retirées à différentes étapes du processus
- ❖ 09/2013 : consultation pour solliciter les avis sur une nouvelle approche de travail avec des collectivités locales potentiellement intéressées
- ❖ 07/2014 : Livre blanc du gouvernement « Mise en œuvre du stockage géologique »  
Installation possible en Angleterre/Pays de Galles/Irlande du Nord, collaboration avec les communautés qui seraient prêtes à l'accueillir  
L'Écosse a sa propre politique de gestion des déchets
- ❖ Un processus est engagé par RWM pour fournir des informations sur la géologie des trois régions, préparer le travail pour définir les conditions de participation aux discussions des communautés intéressées et comment elles bénéficieraient des investissements, et élaborer des processus de planification de l'utilisation du sol pour guider les demandes futures pour la construction

## Suède



### 13 réacteurs

9 en exploitation

4 en arrêt définitif

- ✦ Stratégie de stockage direct en formation géologique granitique
  - ✦ 03/2011 : SKB dépose une demande de licence pour l'autorisation de construction d'un stockage géologique profond à Forsmark
  - ✦ 06/2016: l'autorité SSM a déclaré que SKB était en mesure de se conformer aux exigences de sûreté préconisées : choix de l'emplacement bien fondé, solution retenue préférable aux alternatives, capacité à développer et exploiter le stockage dans le respect des exigences de sûreté
  - ✦ Examen de la demande terminé, auditions par un tribunal en 09/2017, décision à venir dans les mois suivants
  - ✦ 04/03/2018: référendum consultatif local (municipalité) prévu (majorité en faveur du stockage à l'heure actuelle). Le conseil municipal devra décider de la réponse au gouvernement
- La décision finale d'autoriser la construction revient au gouvernement, probablement après les élections de 09/2018
- ✦ 2020: début construction prévue par SKB
  - ✦ 2030: début exploitation prévue par SKB

## Suède



**13 réacteurs**

9 en exploitation

4 en arrêt définitif

- ❖ 1995 : laboratoire d'Äspö (Oskarshamn), granite, -460 m

Le laboratoire ne fera pas partie du stockage définitif contrairement à la Finlande. Sert à valider les concepts

Recherches sur techniques de construction, mise en place des conteneurs et de la bentonite, hydrogéologie, migration des RN et modélisation

- ❖ 2007 : laboratoire Bentonite, en surface au dessus d'Äspö

Etudes sur la bentonite. Développement de machines et de robots



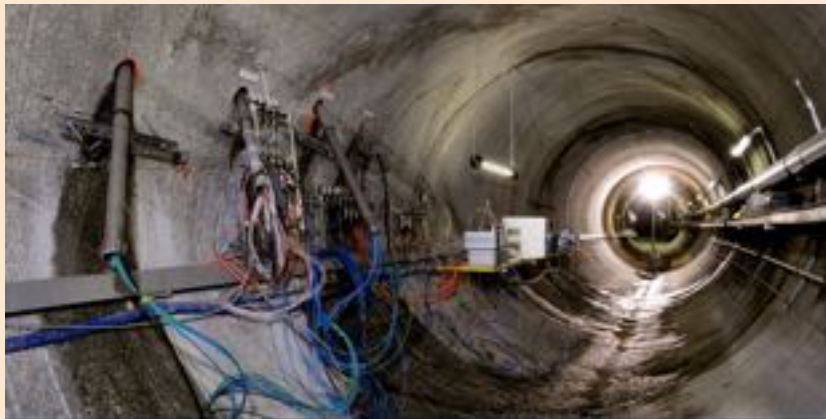


### Suisse



**5 réacteurs**  
5 en exploitation

- ❖ Stratégie de stockage direct en formation géologique
- ❖ 2 laboratoires de recherche :  
Grimsel (granite) et Mont Terri (argile)
- ❖ Laboratoires d'accueil de nombreuses expériences internationales en géologie, hydrogéologie, géochimie, géotechnique...
- ❖ L'autorité Ofen a désigné 6 régions d'implantation potentielle d'un site de stockage pour FA et MA, dont 3 feront l'objet d'études pour le stockage HA

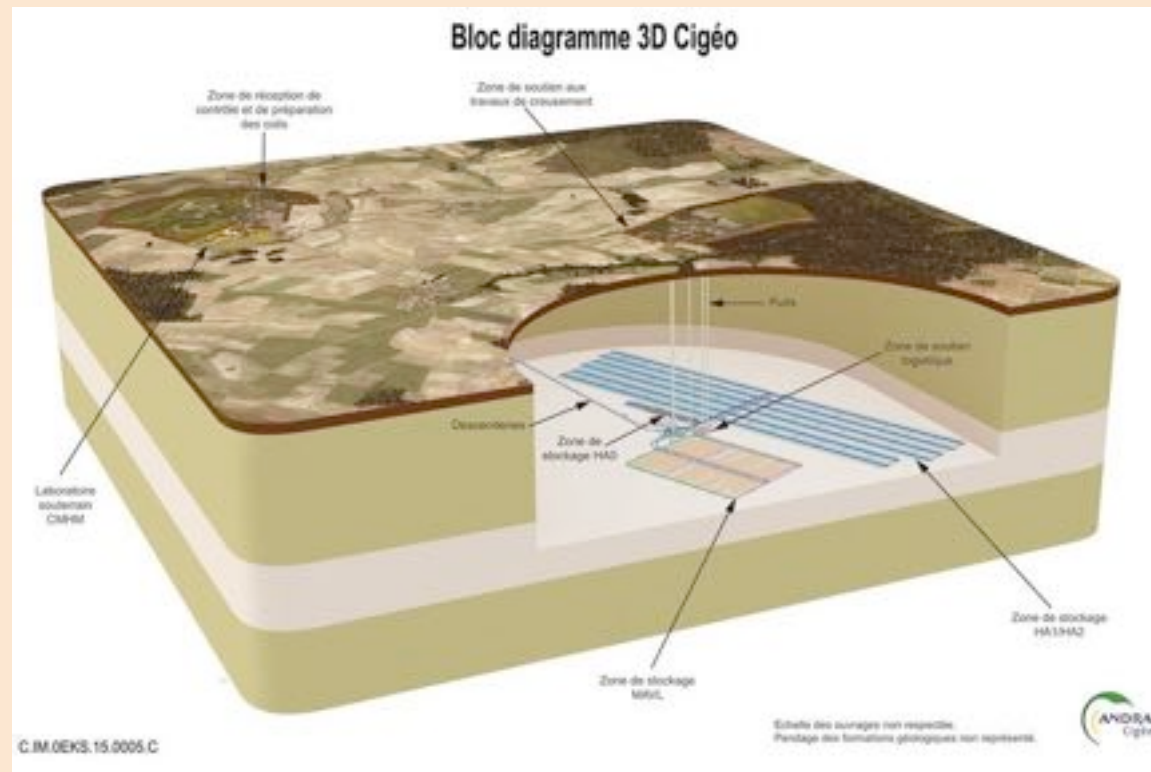


## France



**71 réacteurs**  
 1 en construction  
 58 en exploitation  
 12 en arrêt définitif

- ❖ Le stockage géologique solution de référence entérinée par la loi 2006
- ❖ Deux laboratoires prévus (granite et argile) dans le cadre de la loi sur les recherches de 1991, un seul réalisé à Bure
- ❖ Un dossier de demande d'autorisation du projet de stockage Cigéo prévu par l'Andra en 2019



## Conclusions

- ❖ La question de la stratégie industrielle de gestion des combustibles usés et des déchets haute activité a été posée postérieurement au lancement des activités les générant, qui concernent 32 pays dans le monde
- ❖ Le cadre juridique international privilégie le stockage géologique et le développement de solutions nationales, ce qui pose question pour les pays ayant un petit programme, qui envisagent des solutions régionales
- ❖ En pratique, la plupart des pays restent en attente d'une définition d'une stratégie ou se dirigent vers le stockage géologique
- ❖ Peu ont définitivement sélectionné le site retenu pour le stockage, et très peu sont proches d'une mise en exploitation
- ❖ La Finlande a le projet le plus avancé, vient ensuite la Suède
- ❖ Le calendrier reste soumis à des incertitudes dans tous les pays, qui restent d'autant plus importantes (avec des horizons de mise en œuvre lointains) que les pays sont moins avancés
- ❖ Deux stockages ont été mis en service pour des déchets qui ne sont pas HA, Asse et WIPP, l'un est un échec et l'autre rencontre des difficultés

*Merci de votre attention  
et à votre disposition pour les questions*

Plus d'information :

**WISE-Paris**



© B. Runtz

Yves Marignac, Directeur

**E-mail** : [yves.marignac@wise-paris.org](mailto:yves.marignac@wise-paris.org)

**Tel** : 06 07 71 02 41

**Twitter** : @YvesMarignac