



# **Génie Civil Nucléaire - 70 ans d'évolution**

## **Des premières centrales aux réacteurs de 4ème génération**

Martin Guichard – Romain Ragouin

2 décembre 2025

Conférence SFEN Provence - Campus Arts et Métiers d'Aix-en-Provence



**PUBLIC**



**INTERNAL**



**RESTRICTED**



**CONFIDENTIAL**

# Engineering a carbon-neutral future



We are a global  
community of  
**passionate experts**  
engineering a  
carbon-neutral future

**ENR** INTERNATIONAL  
DESIGN FIRMS  
2024

POWER

#9

COGENERATION

#9

NUCLEAIRE

#5

HYDROELECTRICITE

#2

EOLIEN

#9

TRANSMISSION &  
DISTRIBUTION

#16



# Responsable Designer\* du Parc nucléaire Belge

**Forte présence historique en France**

**Nouvelles constructions  
Prolongation exploitation  
Démantèlement  
SMR**

**Défense  
Nouveaux usages du nucléaire  
(Médical, Spatial, Décarbonation de  
l'industrie)**

\*Le rôle de Responsable Designer signifie que la conception, le design et l'ingénierie de toute modification du parc nucléaire belge sont pris en charge et défendus par Tractebel devant l'Autorité de sûreté.



Le groupe ENGIE reste en tête de l'indice boursier français (CAC 40) en matière de représentation des femmes, selon le classement 2025 de *l'IMPORTANT-ARBA* publié par *Les Échos*.

Cette première place témoigne de progrès concrets et mesurables : **les femmes représentent désormais 32 % des cadres du Groupe** fin 2024, contre 31 % en 2023 et 30 % en 2022. **Objectif : 40 % de femmes cadres d'ici 2030**, sur la base de 33 000 cadres dans le monde.

## Les progrès de Tractebel

Nous sommes passés de 23,9 % de femmes à des postes de direction en janvier 2024 à **26,1 % en novembre 2025**.

## Actions derrière les chiffres

Ces résultats sont notamment dus à **des programmes de mentorat, au développement du leadership féminin, à des processus de recrutement plus inclusifs et à un accompagnement de carrière** à tous les niveaux du Groupe.

Concevoir un avenir neutre en carbone

**Prêt.e  
à réaliser  
votre impact  
positif ?**



**SCANNE POUR  
REJOINDRE  
L'AVENTURE  
TRACTEBEL !**



# Structures nucléaires ?

- Orientées “Process”

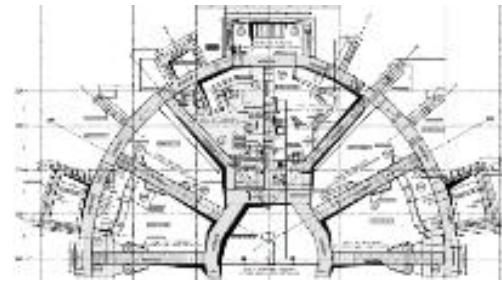
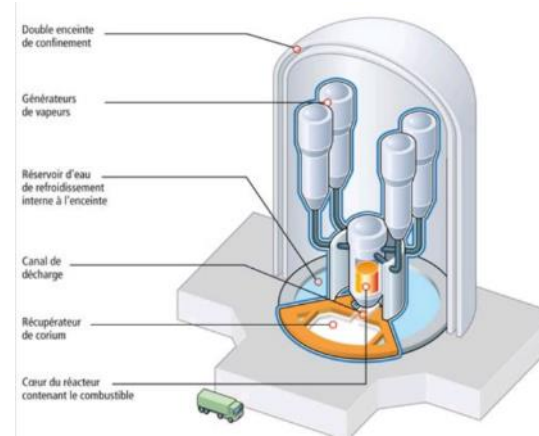
- Aux géométries parfois complexes
- Supportant des équipements spécifiques
- Subissant des conditions d'exploitation particulières

- Fortement sollicitées

- Opérations courantes
- Agressions internes
- Agressions externes

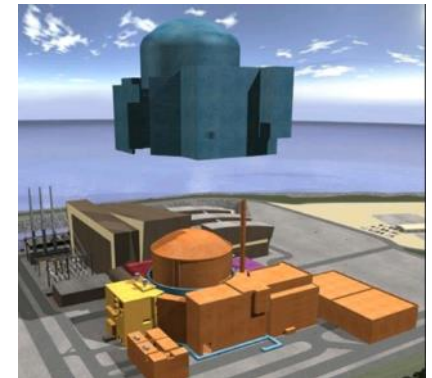
- Référentiels normatifs renforcés (sûreté nucléaire)

- Ex : Eurocodes + surcouches AFCEN (ETC-C, RCC-CW), Guide des INB CEA, etc.
- Ex: ACI 318 -> ACI 349
- ISO 19443



- Objectif

- Robustesse
- Résilience



# Sommaire

**1 Historique de Tractebel (5')**

**2 Conception (15')**

**3 Construction / Exécution / Schémas industriels (15')**

**4 Perspectives d'évolutions (15')**





# 1. Historique de Tractebel



# Aux origines de la précontrainte

C'est au cours de la construction du pont de Plougastel (Albert-Louppe) à Brest inauguré en 1930 qu'Eugène Freyssinet :

- a mis au point le principe de la précontrainte (premier brevet octobre 28)
- a étudié les déformations différées du béton.



# Aux origines de la précontrainte

André Coyne participa (de 1920 à 1928) avec Eugène Freyssinet à l'élaboration du pont de Plougastel et imagina ensuite une déclinaison de la précontrainte à des ouvrages massifs tels que les barrages.





# 1947 : Au début de Coyne et Bellier

## Murs à échelle - Anchored walls

**Barrage du Laurenti (France). Achieved in 1943.**  
Contrairement aux apparences, ce barrage est un barrage en remblai, dont le masque amont est formé par un « mur à échelle », procédé imaginé par A. Coyne en 1927 à Brest (mur de quai). Premier barrage au monde de ce type.

**Laurenti dam (France). Completed in 1943.**  
Contrary to appearances, this is an embankment dam, the upstream face of which is formed by a « mur à échelle », a process invented by A. Coyne in 1927 in Brest (dock walls). First dam of this kind in the world.

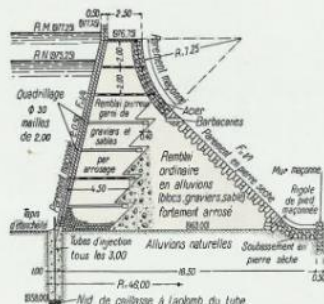
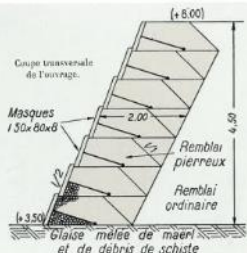


Fig. 20. — Coupe transversale du barrage du Laurenti.

Système de construction de murs de quai, digues, ou murs de soutènement.

A. Coyne

délivré le 5.1.1929



Mur de soutènement du terre-plein de la jetée Est à Brest (1928). Coupe transversale.

## Précontrainte de grande puissance - Large prestressing cables

Dès 1929, A. Coyne imagine d'utiliser la précontrainte de grande puissance pour la construction « d'ouvrages en maçonnerie, béton ou autres », et en particulier celle des barrages. De son vivant et par la suite, des dizaines d'ouvrages ont été ainsi, de par le monde, construits, surélevés ou consolidés.

As of 1929, A. Coyne imagined the use of large prestressing cables for the construction of « masonry, concrete or other works », especially for dams. During his lifetime and thereafter, dozens of works were built, raised or consolidated in this way throughout the world.

Mise en place d'un tirant de 1000 t. au barrage de Castillon.

Installation of a 1000-ton cable at Castillon dam.

Brevet TIRANTS (A. Coyne)

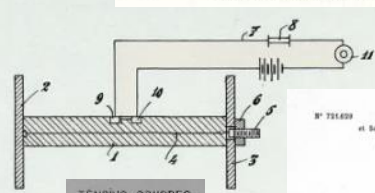
Perfectionnements apportés aux ouvrages de travaux publics, notamment à ceux tels que barrages, comportant des massifs en matériaux de construction

déposé le 14 avril 1930

## Témoins sonores - Vibrating wire extensometers

Témoins sonores. Figure du brevet de 1930. Issus de ce brevet, les « témoins sonores » et autres appareils à corde vibrante, imaginés par A. Coyne pour l'auscultation des ouvrages, devaient connaître un développement prodigieux, puisqu'ils équipent à l'heure actuelle 600 ouvrages dans 60 pays, dont 250 barrages.

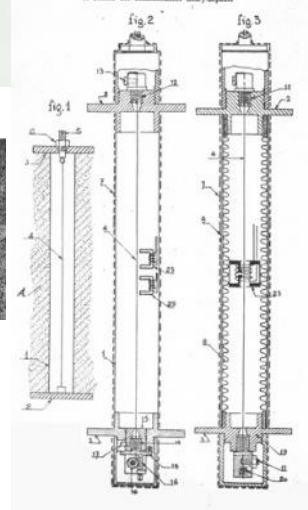
Vibrating wires. Figure of the 1930 patent. Developed from this patent, vibrating wires and other similar devices conceived by A. Coyne to monitor works have proven to be very successful: today this equipment currently monitors 600 works in 60 countries, 250 of which are dams.



TÉMOINS SONORES 3 BI  
Procédé et dispositif pour la mesure des déformations des solides et notamment des déformations internes du béton.

délivré le 22 décembre 1931

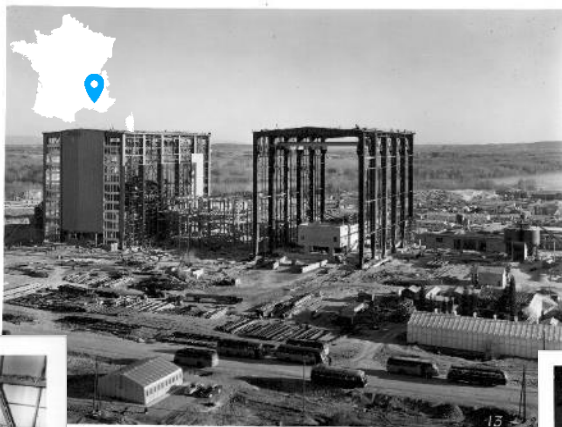
N° 731.639 M. Coyne et Société des Établissements Henry-Lepoutre Syphonon. — P.1



# Début dans le Nucléaire

## Centrales nucléaires de 1<sup>ère</sup> génération (1/2)

Marcoule – Caissons G2 &  
G3 (1954-1960)  
Application de la  
précontrainte



26/02/1957 - ©Alix-Bagnères

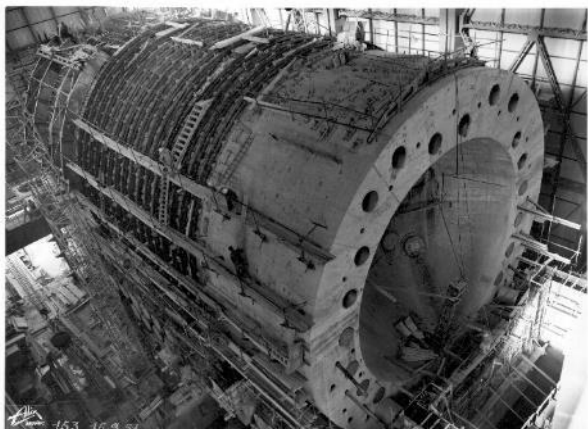


19 BI  
Nouvelle enveloppe en béton précontraint pour  
pile atomique sous pression.  
A. Coyne - J. Bellier - CEA  
-----  
demandé le 26.9.1958

23 BI  
Caisson en béton précontraint.  
A. Coyne - J. Bellier et CEA  
-----



14/09/1957 - ©Alix-Bagnères

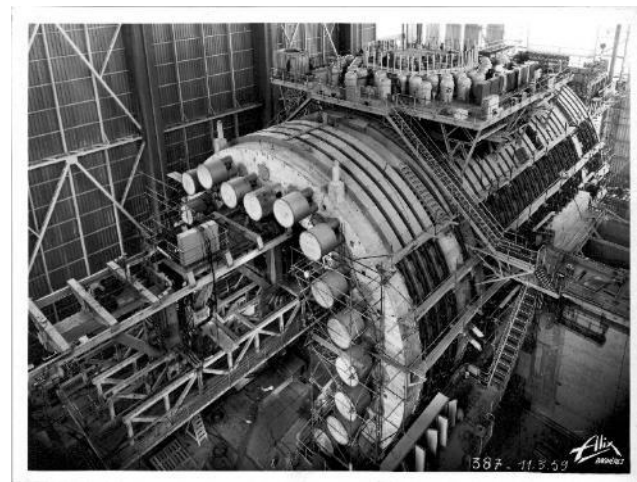


16/09/1957 - ©Alix-Bagnères

# Début dans le Nucléaire

## Centrales nucléaires de 1<sup>ère</sup> génération (2/2)

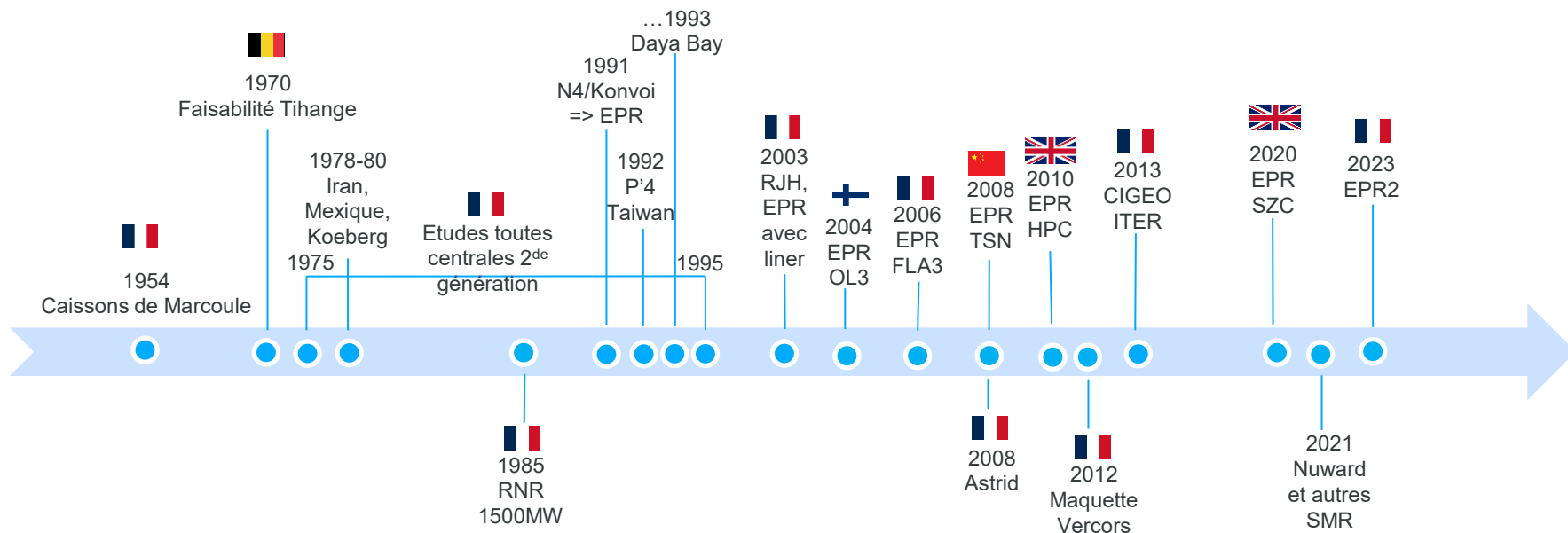
- La première étude date de 1954 « **concours pour la conception d'un caisson précontraint** » qui débouche sur les études et la réalisation des caissons G2 et G3 de Marcoule (centrale de 250 MW - graphite-gaz), **ancêtre des centrales UNNG de Chinon - St-Laurent – Bugey**.
- Caisson de 14m de diamètre.
- 20m de long résistant et étanche à 30 bars.
- Exécution en 1957 – 1958.
- Interprétation de l'auscultation.



11/03/1959 - ©Alix-Bagnères



# Historique Tractebel



# Historique Tractebel 2<sup>ème</sup> génération



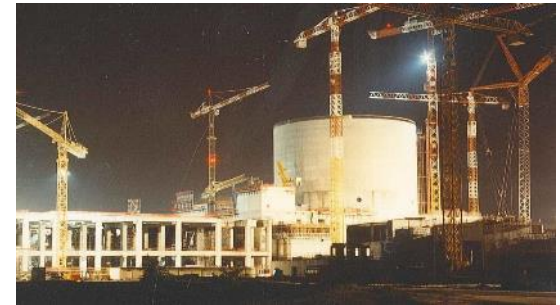
Tricastin



Saint-Alban



Cattenom



Civaux

# Historique Tractebel 3<sup>ème</sup> génération



Olkiluoto (Finlande)



Flamanville (France)



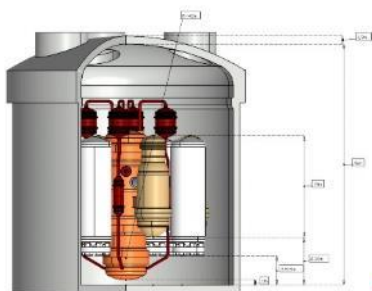
Taishan (Chine)



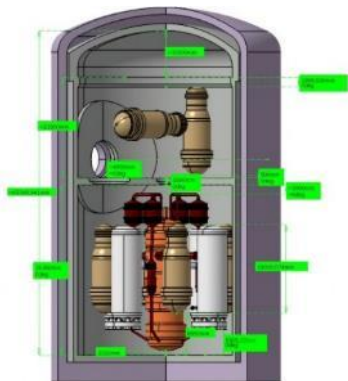
Hinkley Point C (UK)



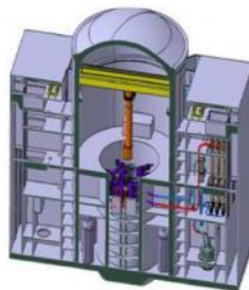
# Historique Tractebel 4<sup>ème</sup> génération



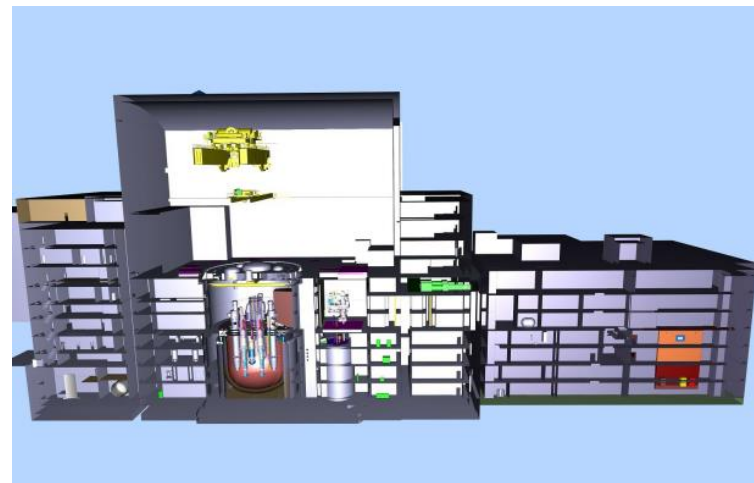
Réacteur GFR  
(pour CEA)



Réacteur GTMHR et  
PBMR (pour Framatome)



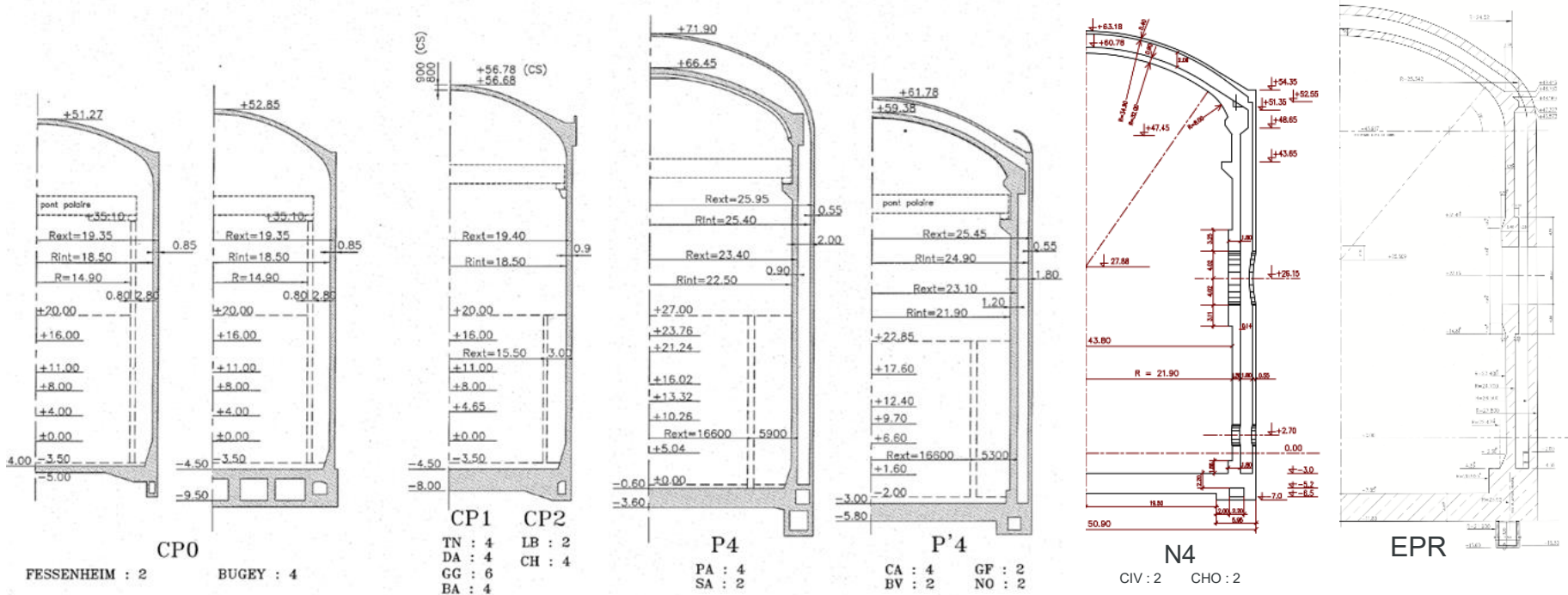
Réacteur SFR (pour  
Areva)



Projet Astrid

# Historique Tractebel

## Dimensionnement des enceintes de confinement du palier CP1 jusqu'aux EPR



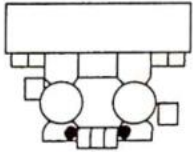
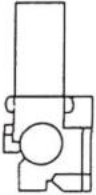
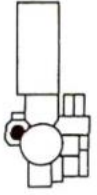
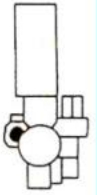


## **2. Conception**





# Evolution de l'implantation générale

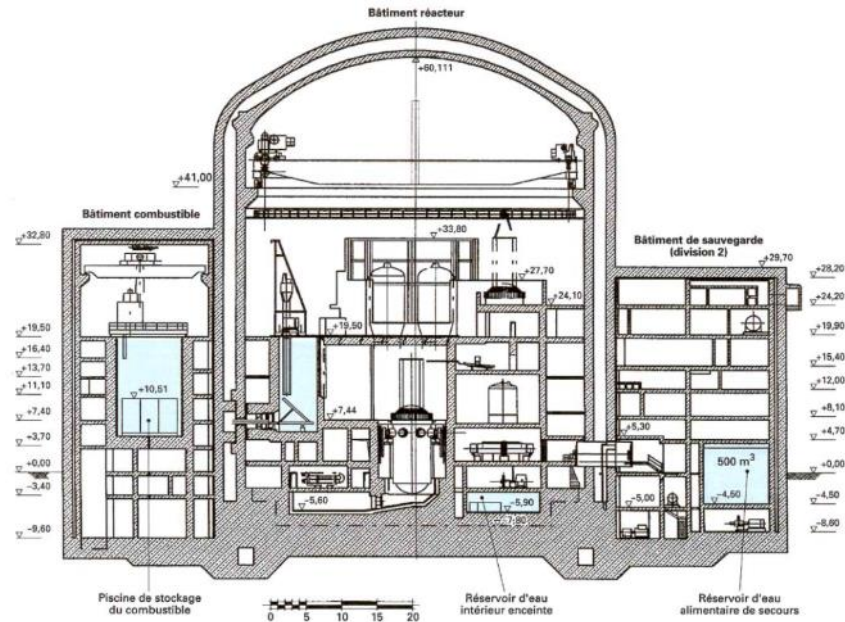
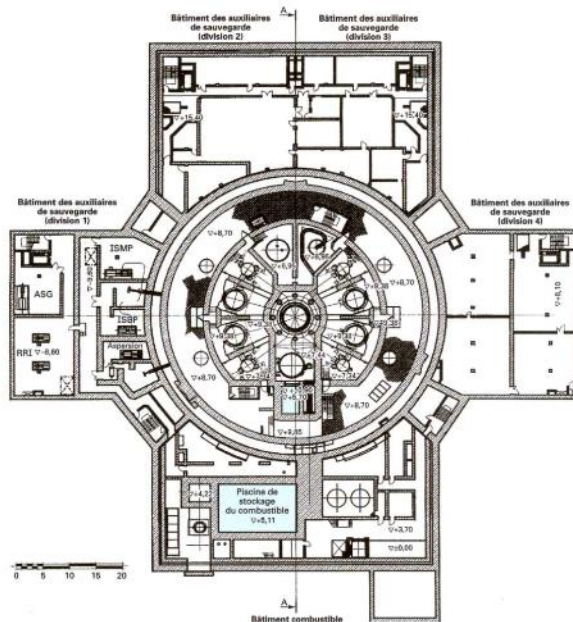
Puissance du REP	900 MW				1 300 MW		1 400 MW
Type	Fessenheim	Bugey	CP1	CP2	P4	P'4	N4
Implantation générale	Tranches jumelées				Tranches séparées		
							
	Ilôt nucléaire identique						

Extrait Techniques de  
l'ingénieur - Réacteurs à eau  
sous pression - Régis  
DURAND-SMET

# Evolution de l'implantation générale

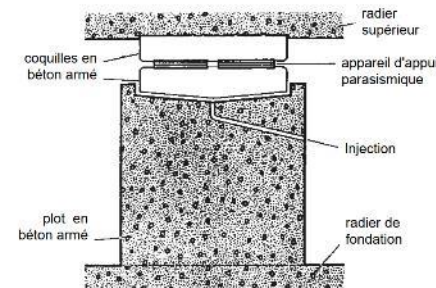
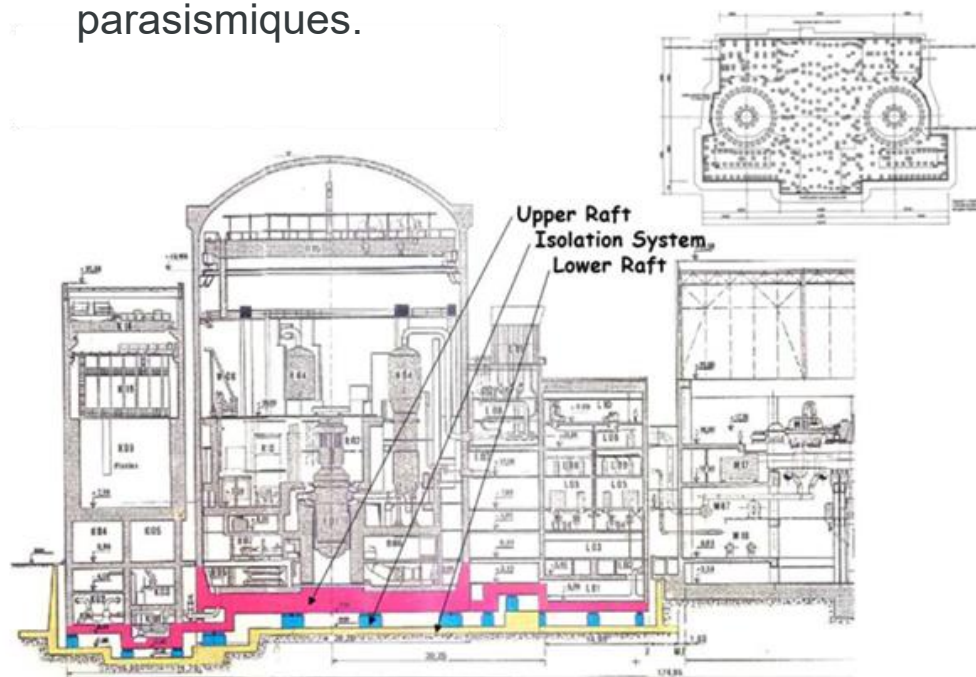
## Evolutions EPR :

TRACTEBEL  
ENGIE



# Site de Cruas

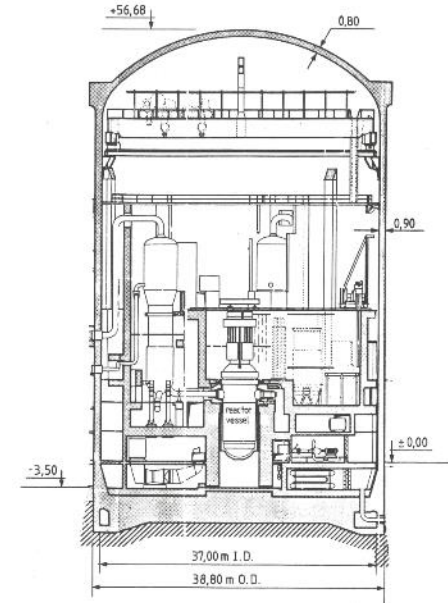
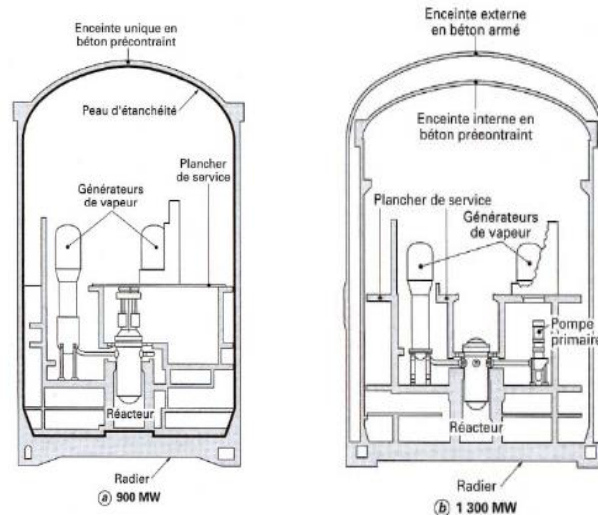
Les bâtiments de l'îlot nucléaire de chaque paire de tranches sont fondés sur un radier commun, nommé "radier supérieur" (ou radier général), reposant sur des appuis parasismiques.



# Focus Bâtiment Réacteur

Le Bâtiment Réacteur comprend :

- Une enceinte de confinement qui, pour tous les réacteurs à eau pressurisée actuellement en service en France, consiste a minima en une structure cylindrique en béton précontraint reposant sur un radier en béton épais, surmontée d'un dôme toro-sphérique (3 types d'enceinte au sein du parc nucléaire en France)
- Des Structures internes







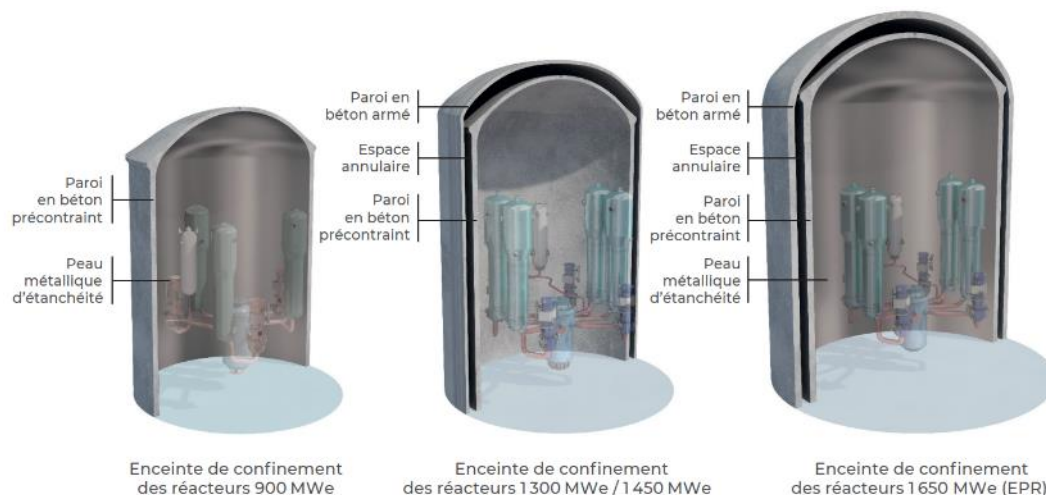
# Enceinte de confinement



# Enceintes de confinement

Les enceintes de confinement sont de 3 types en France :

- Type 1 – Enceinte simple avec peau métallique
- Type 2 – Enceinte double sans peau métallique
- Type 3 – Enceinte double avec peau métallique



Extrait Rapport de l'ASN sur l'état de la  
sûreté nucléaire et de la radioprotection en  
France en 2019

# Enceintes de confinement

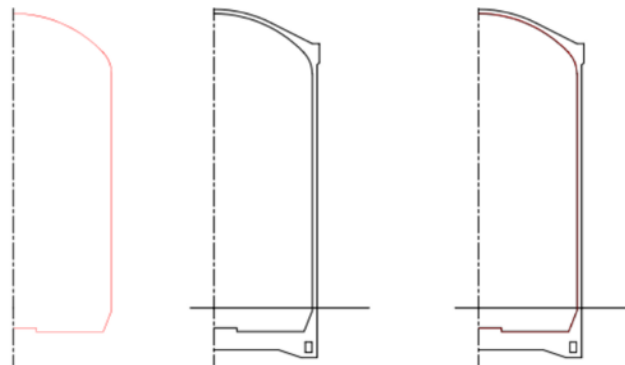
## □ Type 1 – Enceinte simple avec peau métallique

Dans ce cas, la face intérieure de l'enceinte de confinement précontrainte est entièrement recouverte par un liner métallique en acier ; la paroi en béton précontraint assure la résistance aux pressions internes en cas d'accident, tandis que le liner assure l'étanchéité de la structure à l'air (ou au mélange air et vapeur).

L'enceinte de confinement en béton précontraint joue simultanément le rôle d'une structure de protection contre les agressions extérieures, principalement les crashes d'avion.

Sur le parc français, le type 1 est représenté par :

- ✓ Palier CP0
- ✓ Paliers CP1 et CP2
- ✓ Palier EPR2

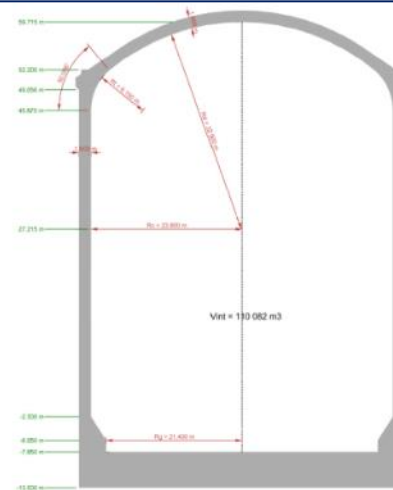
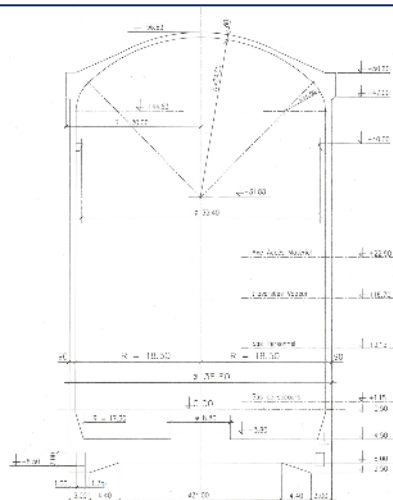


# Enceintes de confinement

## □ Type 1 – Enceinte simple avec peau métallique

Palier 900MW – CP1 / CP2

EPR 2 Penly





# Enceintes de confinement

## □ Type 2 – Enceinte double sans peau métallique

L'enceinte interne en béton précontraint assure la résistance aux pressions internes en cas d'accident et une étanchéité contrôlée à l'air (ou au mélange air et vapeur).

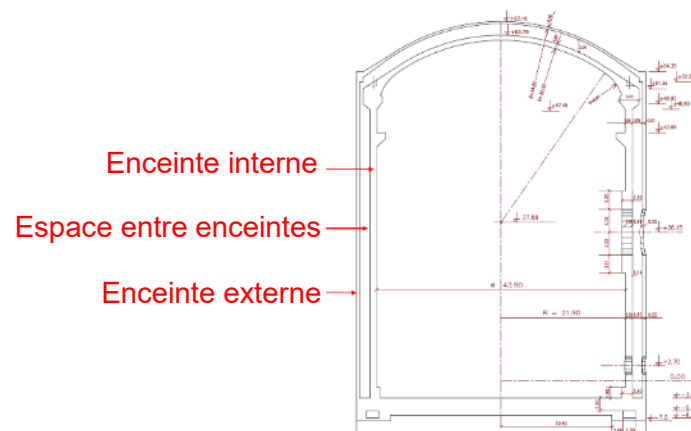
Les fuites résiduelles à travers la paroi de l'enceinte interne de confinement sont collectées dans l'espace interne entre enceintes.

De plus, l'enceinte externe en béton armé joue le rôle de structure de protection contre les agressions externes, principalement les crashes d'avion.

Sur le parc français, le type 2 est représenté par :

- ✓ Palier P4
- ✓ Palier P'4
- ✓ Palier N4

Les enceintes de type 2 n'existent qu'en France.

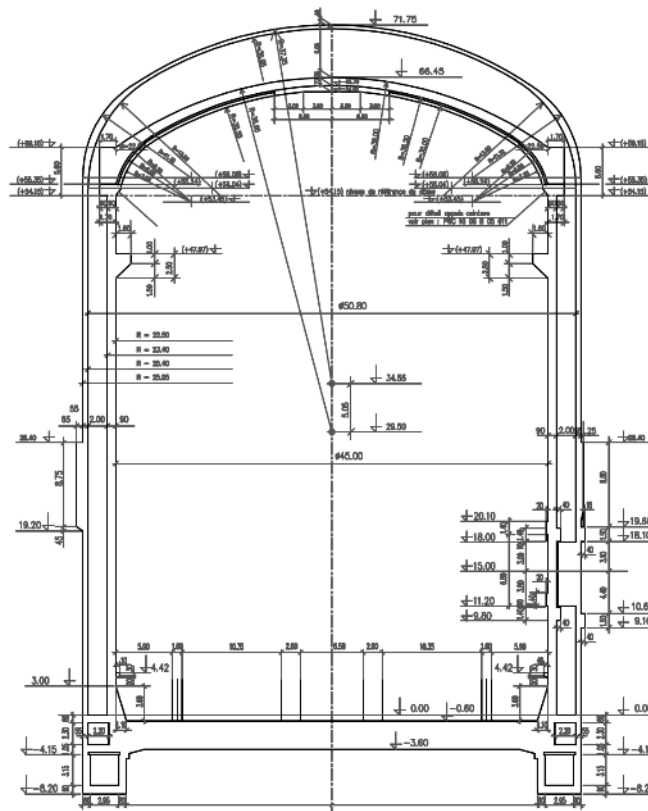


# Enceintes de confinement

Type 2 – Enceinte double sans peau métallique

Palier P4

TRACTEBEL  
ENGIE



# Enceintes de confinement

## □ Type 3 – Enceinte double avec peau métallique

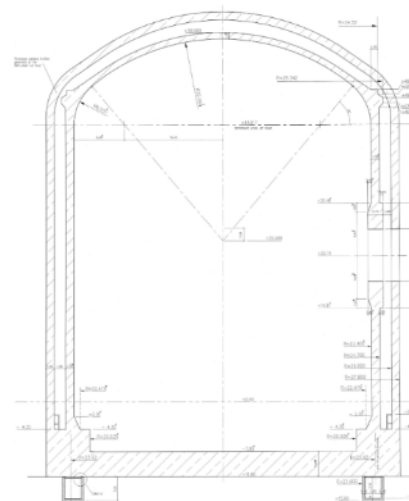
L'enceinte interne en béton précontraint, équipé d'un liner métallique sur sa face intérieure, garantit à la fois la résistance et l'étanchéité en cas d'accident, tandis que l'enceinte externe protège contre les agressions externes provenant notamment d'avions commerciaux et d'avions militaires.

Dans les types 1 et 2 (avant EPR2), seuls les impacts provenant de l'aviation civile devaient être pris en compte.

Sur le parc français, le type 3 est représenté par :

✓ EPR Flamanville 3

Ailleurs dans le monde, EPR Olkiluoto 3 (1 unité),  
Taishan (2 unités), Hinkley-Point C (2 unités),  
Sizewell C (2 unités).

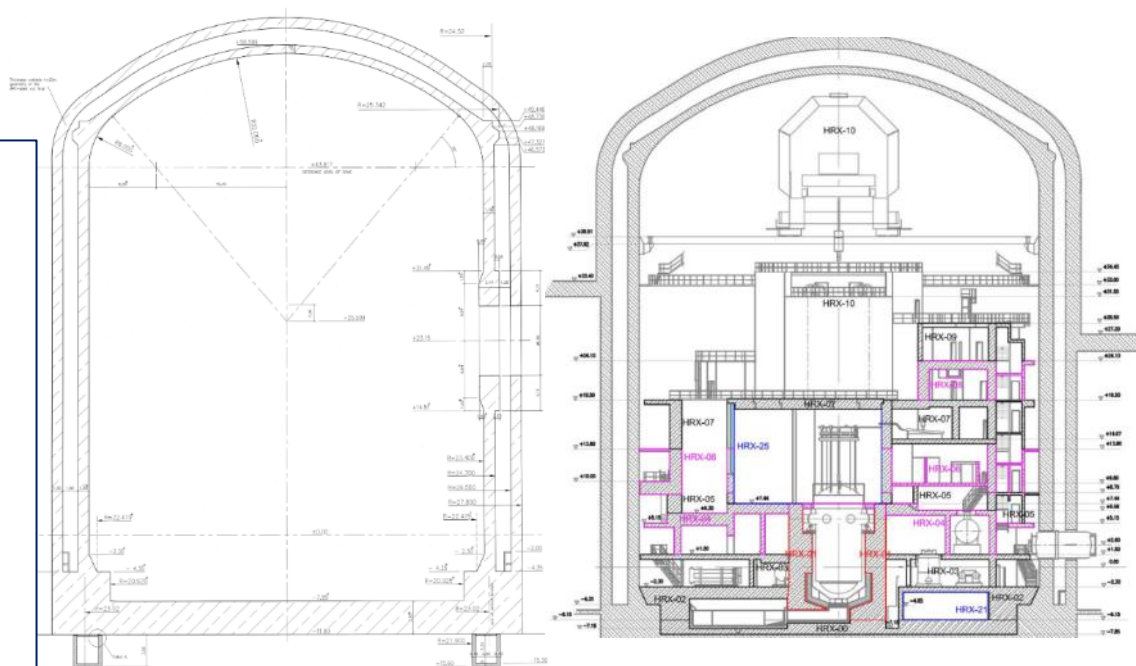


# Enceintes de confinement

Type 3 – Enceinte double avec peau métallique

EPR Flamanville 3

TRACTEBEL  
ENGIE





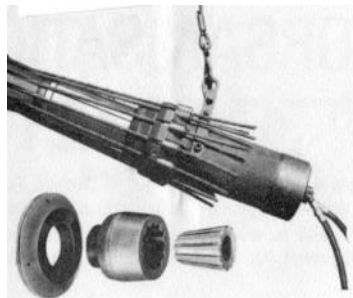
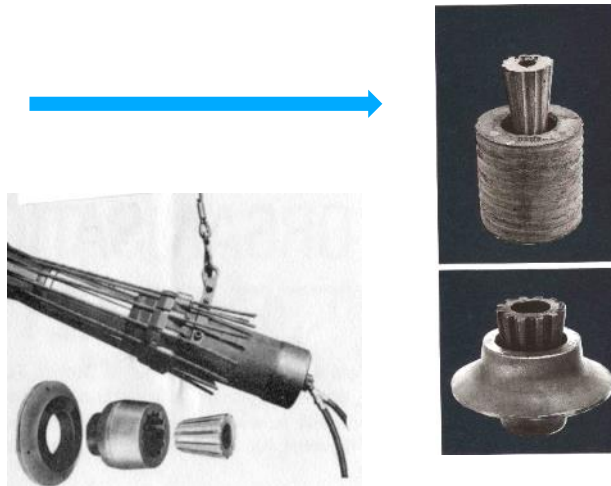
# Evolution des enceintes de confinement de CP0 à EPR2

		CP0 – 900 MWe		CPY - 900 MWe		1300 MWe	1300 MWe	1450 MWe	1650 MWe	1650 MWe
		Fessenheim	Bugey	CP1/2	Cruas	P4	P'4	N4	EPR	EPR2
Géométrie	Epaisseur partie cylindrique (interne)									
	(externe)									
	Epaisseur dôme (interne)									
	(externe)									
	Diamètre intérieur cylindre (interne)									
	(externe)									
	Volume intérieur libre (m3)									
	Pression dimensionnement (MPa,rel.)									
Précontrainte	Type câble									
	Classe									
	Limite de rupture garantie (MPa)									
	Nombre de nervures									
	Layout horizontal									
	Layout dôme									
Nombre de câbles	Tonnage précontrainte (t)									
	Horizontaux									
	Verticaux purs									
	Gamma									
	Dôme purs									
Liner métallique	Epaisseur (mm)									
	$f_{y,max}$ (MPa)									



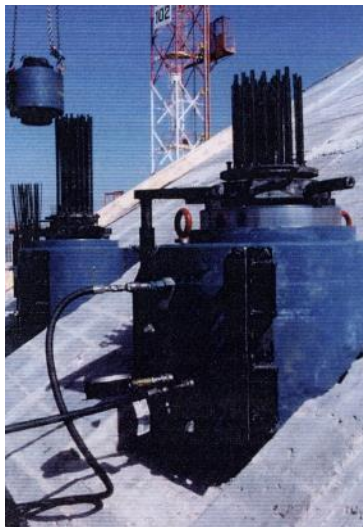
# Evolution de la précontrainte

- Brevet initial du dispositif d'ancrage par cône Freyssinet datant d'octobre 1939 pour 12 fils de 5 mm avec des cônes en béton
- Câbles Freyssinet (1970) 12T15 (système V) →
- Câbles Freyssinet (1980) 19 T 15 ou 37 T 15 (système K)
- Câbles Freyssinet (> 2000) 55T 15 (système C) ↓



## Evolution des types de câbles

Mise en tension des  
câbles verticaux  
37 T15



Mise en tension des  
câbles horizontaux  
54/55 T15



# Evolution de la précontrainte

## Définition du câblage de précontrainte

- Section des câbles
- Position des câbles (cylinder et dôme)
- Nombre et position des nervures (pour limiter les pertes par frottement)
- Prise en compte des singularités et des ouvertures

## Description de la précontrainte du palier CP0 au palier P'4

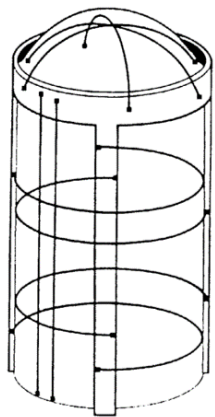


	CP0 – 900 MWe		900 MWe		1300 MWe	1300 MWe
	Fessenheim	Bugey	CP1/2	Cruas	P4	P'4
Nombre de nervures						
Layout horizontal						
Layout dôme						



# Evolution de la précontrainte

Paliers CP0 / CP1 / CP2



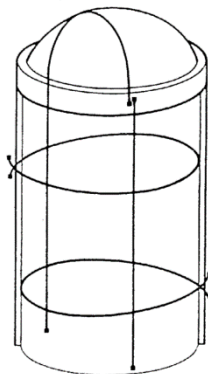
Nombre de nervures

Câbles horizontaux

Câbles dôme



Palier P4

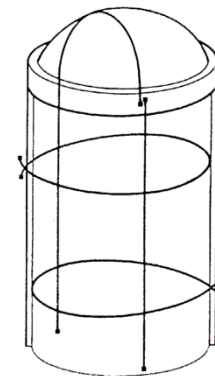
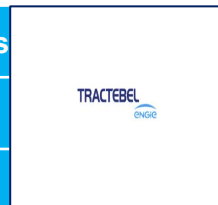


Paliers P'4 et N4

Nombre de nervures

Câbles horizontaux

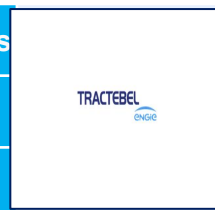
Câbles dôme



Nombre de nervures

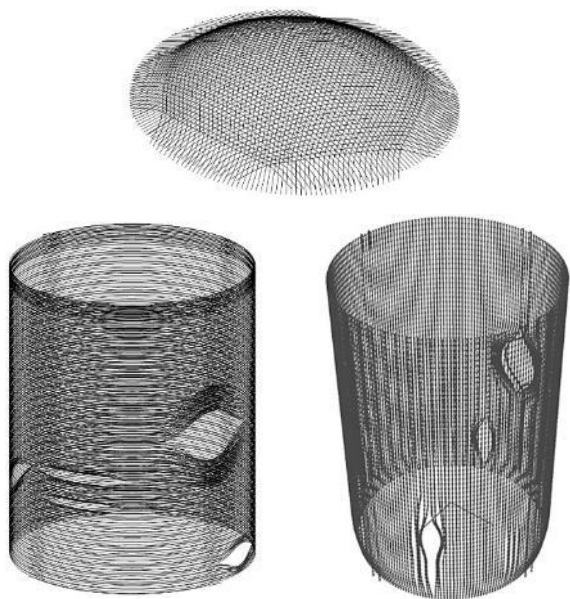
Câbles horizontaux

Câbles dôme

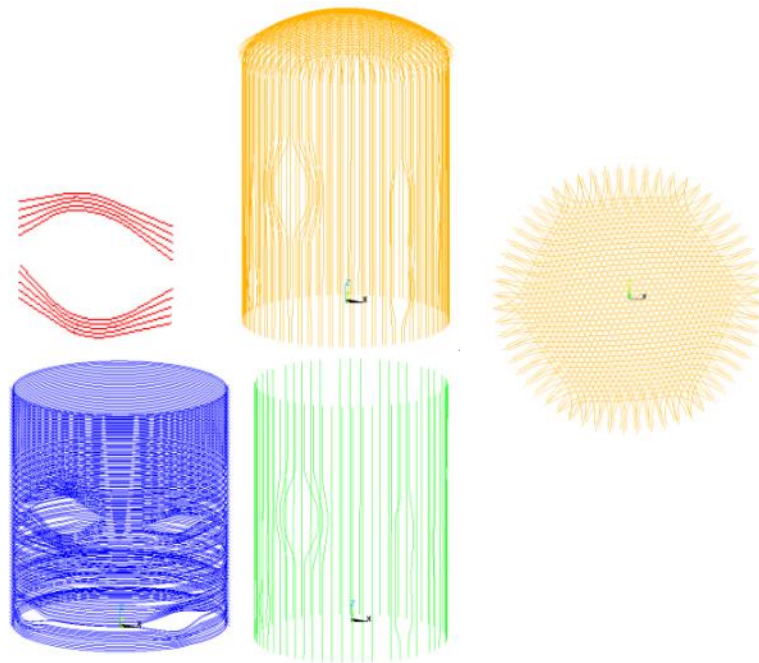


## 2. Evolution de la précontrainte

Palier CPY



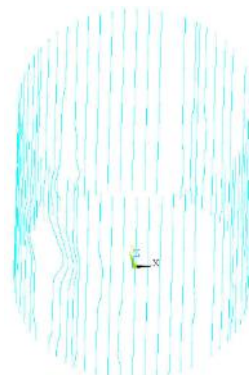
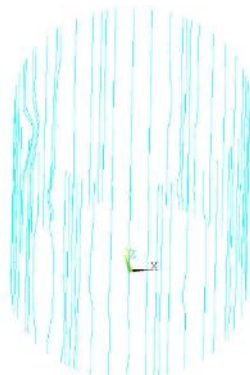
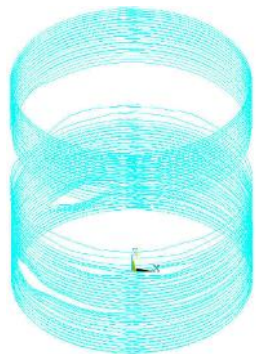
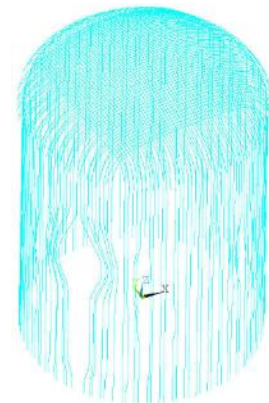
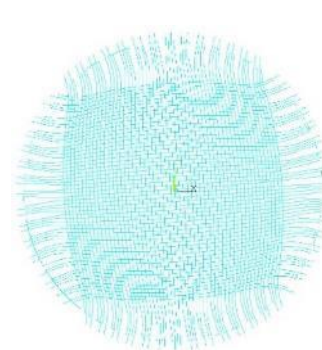
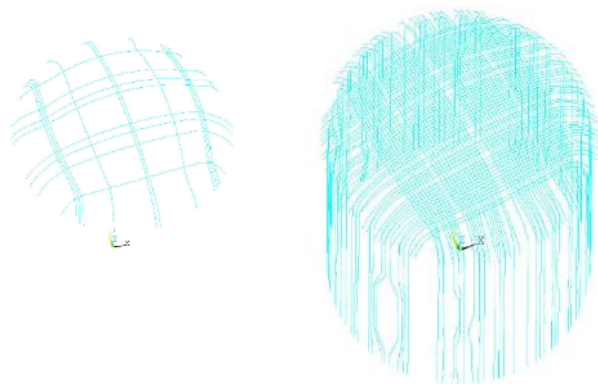
Palier P4



## 2. Evolution de la précontrainte

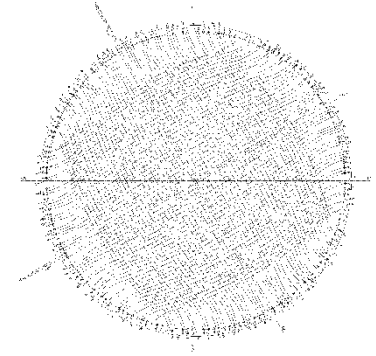
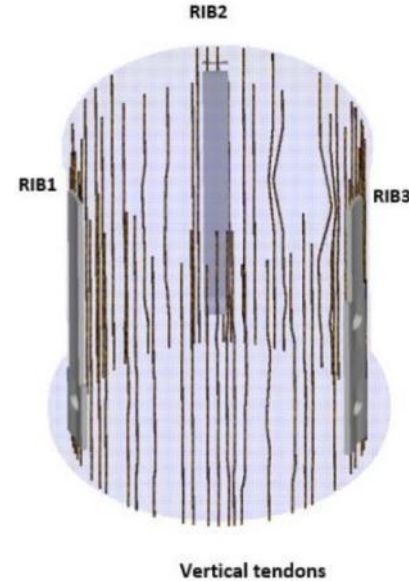
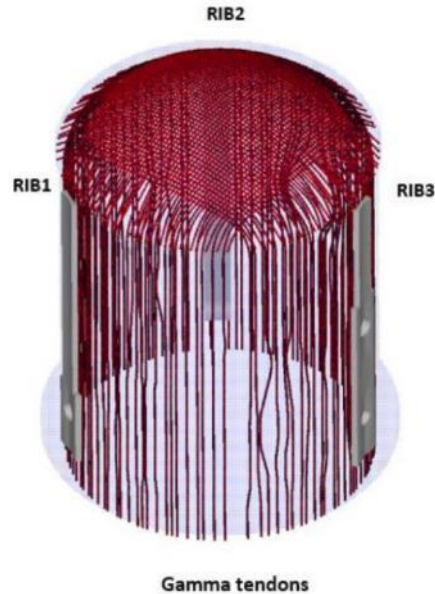
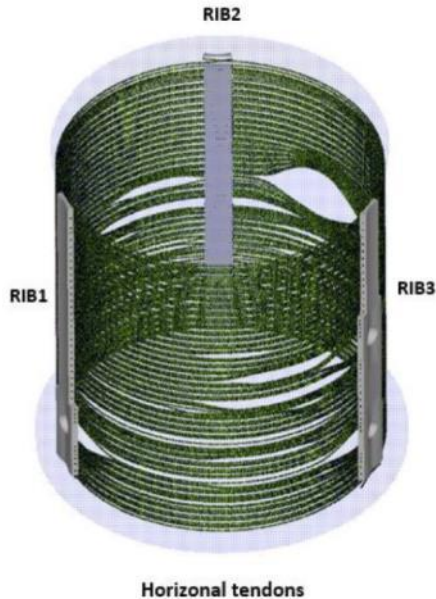
Palier P'4 (2 types de câbles horizontaux)

Palier N4



## 2. Conceptual design

EPR – Vues du câblage



Dans le dôme, 2  
nappes à 90°

# Evolution du design

Evolution des règles de dimensionnement

✓ CP0/CP1/CP2

- ☐
- ☐
- ☐



✓ P4/P'4/N4

- ☐
- ☐




✓ EPR

- ☐
- ☐
- ☐





# Evolution du design

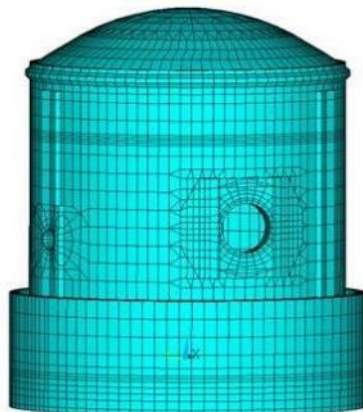
	CP0		CP1		1300 MWe	1300 MWe	1450 MWe	1650 MWe
	Fessenheim	Bugey	CP1/2	Cruas	P4	P'4	N4	EPR
Température accidentelle de design (°C)								
Pression de design (MPa rel.)								
Impact avion								
Règles dimensionnement enceinte								
Classe béton (bars ou MPa)								
Nuance acier (MPa)								

(\*) l'application de l'ETC-C 2006 est spécifique à l'EPR FA3 ; pour l'EPR OL3 , un code de conception spécifique avait été préparé par AREVA, nommé PS 4041/FIN 005 Prestressed Containment with Steel Liner (Enceinte de confinement précontrainte avec revêtement en acier) ; l'ETC-C rév. 2010 a été adopté pour d'autres projets EPR en cours tels que l'EPR HPC (avec un guide complémentaire britannique). Pour EPR2, le code utilisé est RCC-CW 2018.

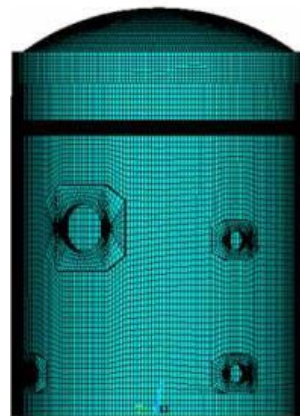
# Evolution des modèles EF



Palier P4

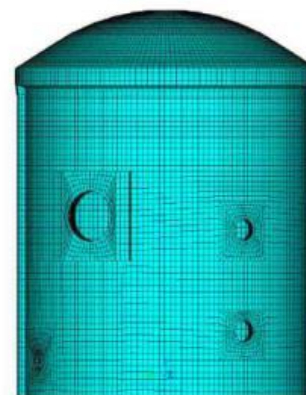


EPR OL3



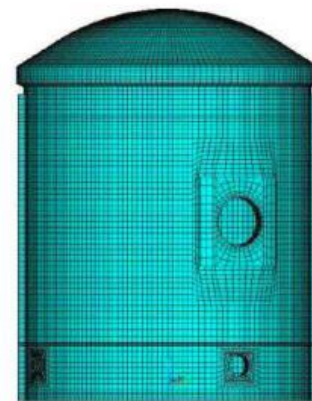
Modèle P4

210 457 nœuds  
185 881 éléments



Modèle P'4

233 045 nœuds  
213 457 éléments



Modèle N4

158 449 nœuds  
142 808 éléments



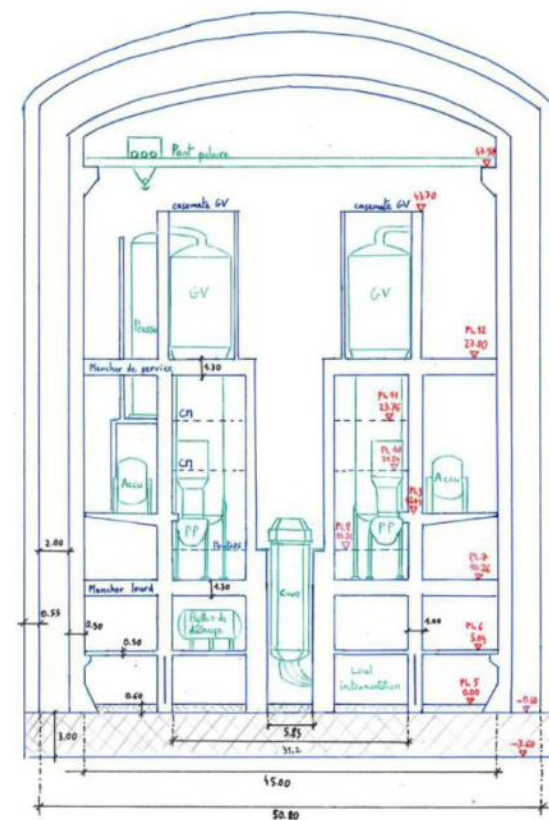
# Structures Internes



# Structures Internes

Les Structures Internes du BR, ouvrage réalisé en béton armé, comprennent :

- Une dalle support en béton
- Un cylindre de béton s'étendant du fond du bâtiment jusqu'à la sous-face du plancher de service appelé jupe des SI.
- Un cylindre béton s'étendant du fond du bâtiment jusqu'au fond de la piscine et constituant le puits de cuve, réceptacle de la cuve du réacteur,
- Un plancher de service,
- Une piscine permettant la manipulation sous eau du contenu de la cuve du réacteur,
- Les casemates séparant les gros composants du circuit primaire:
- Des planchers métalliques



# Structures Internes

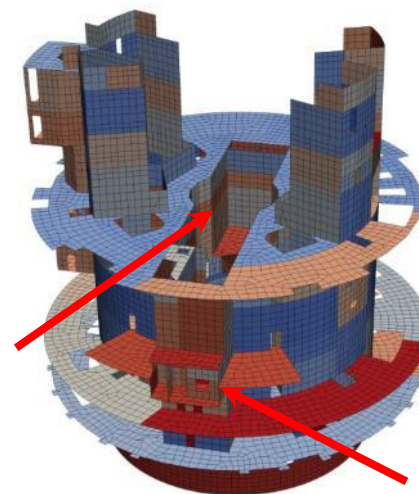
Fonctions de base des Structures Internes des paliers nucléaires français :

- 1) Supportage et stabilité de tous les éléments du process nucléaire
- 2) Manutention des éléments du process nucléaire
- 3) Premier confinement des situations d'accident
- 4) Opérations de chargement et déchargement du réacteur

Ruptures en différents points  
d'une boucle primaire



Piscine  
au niveau du  
plancher de  
service  
(ex : P4)

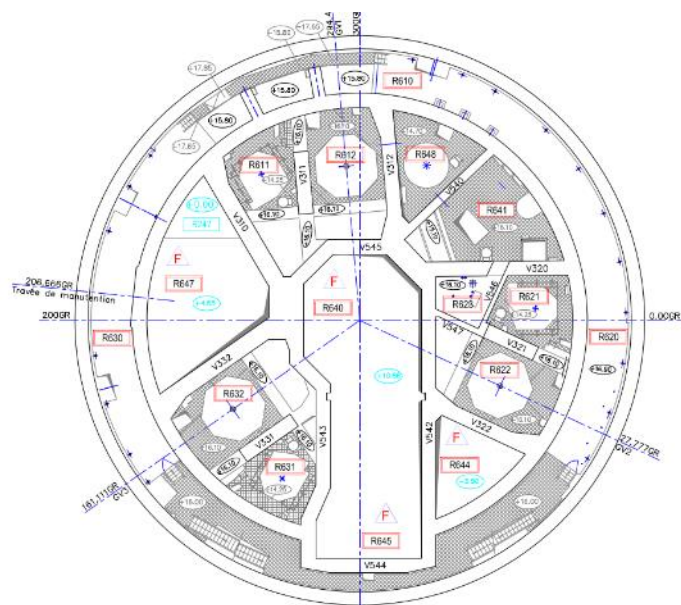


tube  
transfert

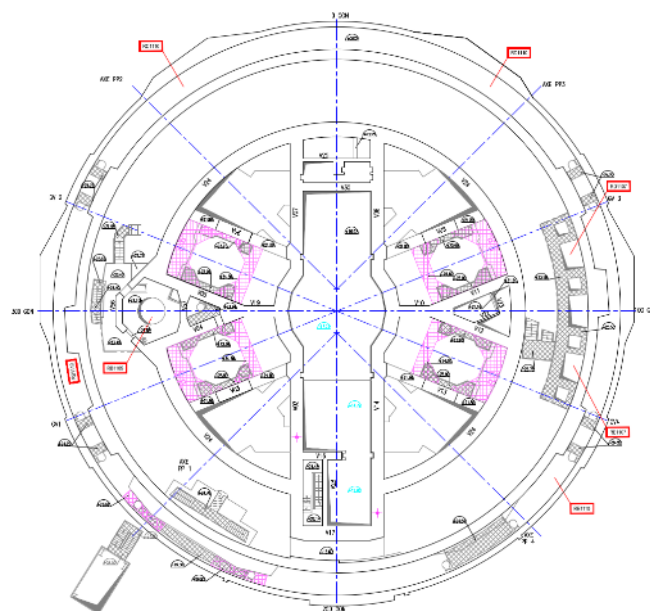


# Structures Internes

Passage de 3 à 4 boucles



Palier CPY



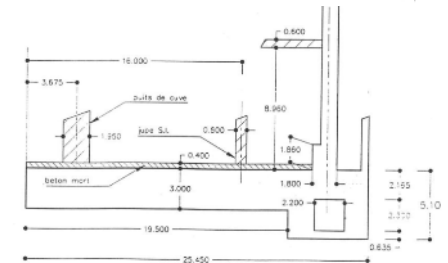
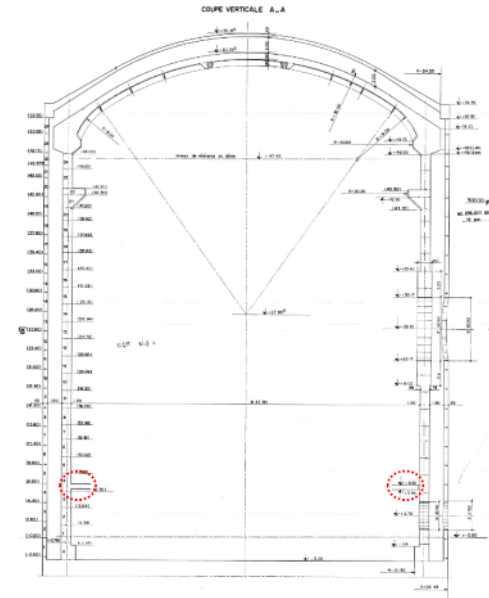
Palier P4

# Structures Internes

Pour tous les paliers nucléaires français, de CP0 à EPR, les Structures Internes sont intégralement contenues dans l'Enceinte Interne du Bâtiment Réacteur (BR) et indépendantes de celle-ci à l'exception du palier N4 ; leurs seules connexions directes notables avec les bâtiments voisins de l'îlot nucléaire sont :

- ✓ le tube de transfert qui relie la piscine des SI à la piscine de stockage du BK
- ✓ les tuyauteries du circuit secondaire qui, après être sorties de l'extrémité supérieure des GVs traversent la paroi des enceintes interne et externe.

Pour le palier N4, une liaison des SI à l'enceinte interne (EI) existe au niveau du plancher à +6,60 m, souple en direction z, rigide en direction horizontale.



# Evolution de la conception des SI


Sont identifiées dans le tableau suivant les options principales de conception des SI des paliers nucléaires français de CP0, CP1/2, P4, P'4 et N4.

Palier	Masse des SI [tonnes]	Dalle inférieure des SI	Puits de cuve	Jupe des SI	Principe de liaisons des SI au BR	Reprise efforts sismiques
CP0						
CP1/CP2						
P4						
P'4						
N4						

<sup>(5)</sup> joint ouvert périphérique (base gousset enceinte)

# Evolution du design

- Le passage d'un dimensionnement en contraintes admissibles à celui d'un dimensionnement aux ELU et ELS

dimensionnement	
En contraintes admissibles	Aux ELU et ELS
CP0	
CP1/CP2	
P4	
P'4	
N4	
EPR	

- Un dimensionnement détaillé fondé sur :
  - l'emploi de modèles EF 3D des SI distincts soumis à des déplacements imposés à leurs interfaces avec le BR jusqu'au palier N4,
  - l'emploi de modèles EF 3D des SI inclus dans un modèle d'ensemble des structures de l'îlot nucléaire pour le palier EPR.

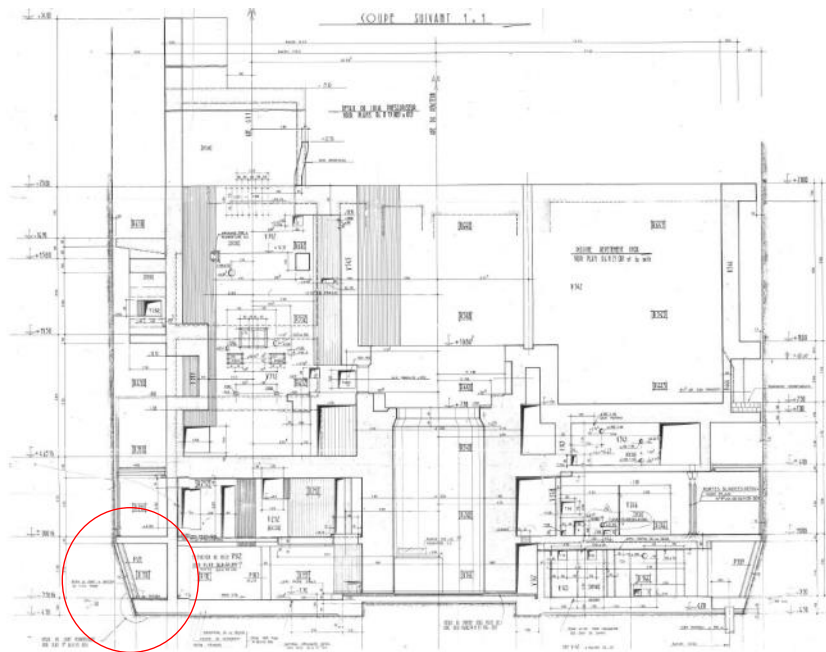
# Evolution du design

Parmi les points notables caractéristiques du dimensionnement des SI des paliers nucléaires français on pourra citer :

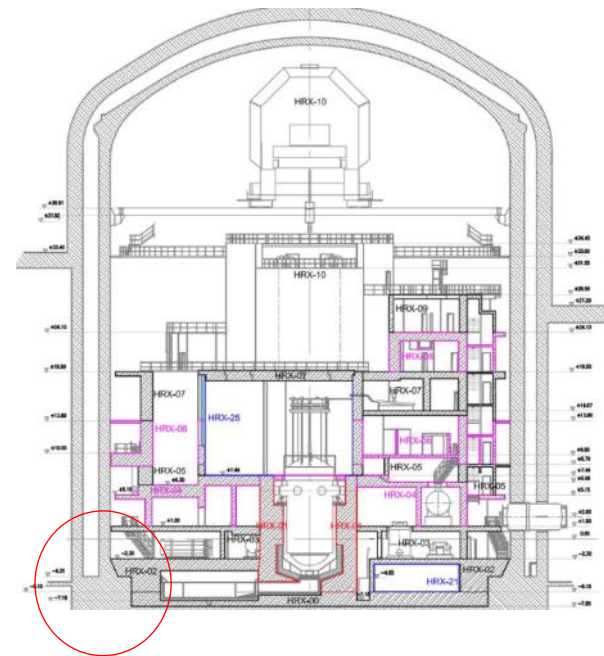
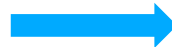
- Une révision sensible des efforts de rupture à prendre en compte au design (entre P4 et P'4) qui a conduit à une diminution notable des ratios moyens de ferrailage des SI (de 300 kg/m<sup>3</sup> à 200 kg/m<sup>3</sup> pour P4').
- Un nombre limité de combinaisons de cas de charges pour le dimensionnement des ferrillages (environ 50) jusqu'au palier N4 déclinées ensuite avec les efforts de rupture du circuit primaire.
- L'apparition pour le palier EPR d'un « core catcher » en base des SI et la disparition du joint périphérique entre extrémité de la dalle inférieure des SI et la base de l'enceinte interne qui ont notablement complexifié le design et la justification de cette dalle inférieure et du gousset de l'enceinte interne.



# Evolution du design

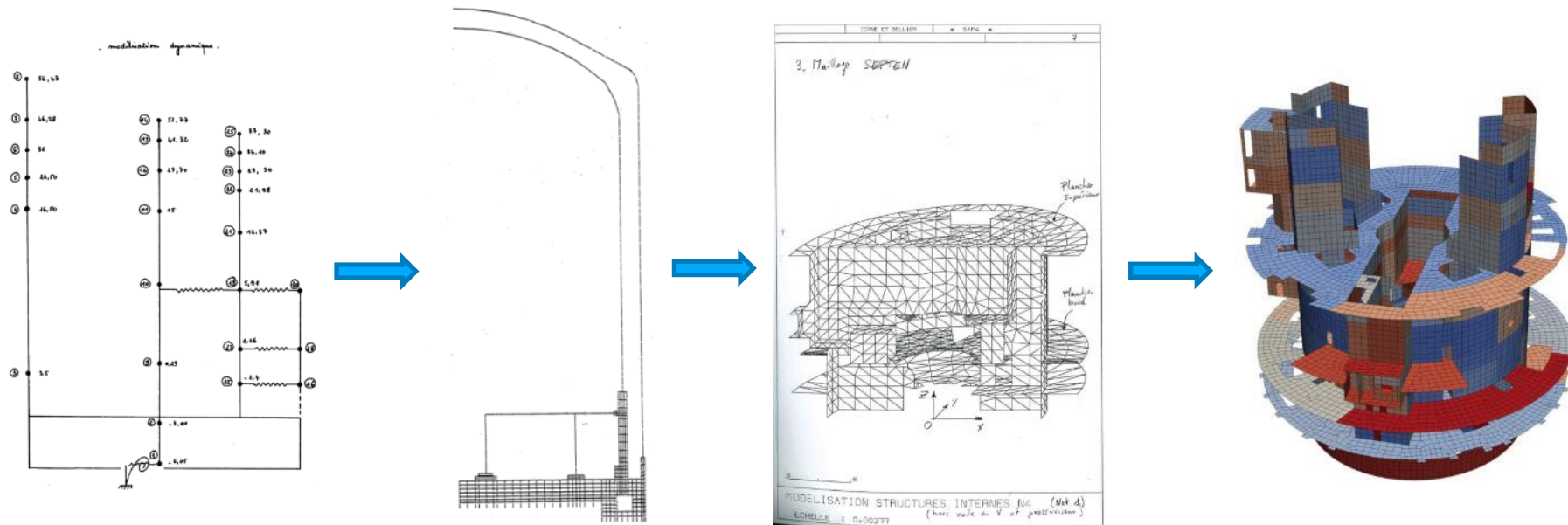


CPY

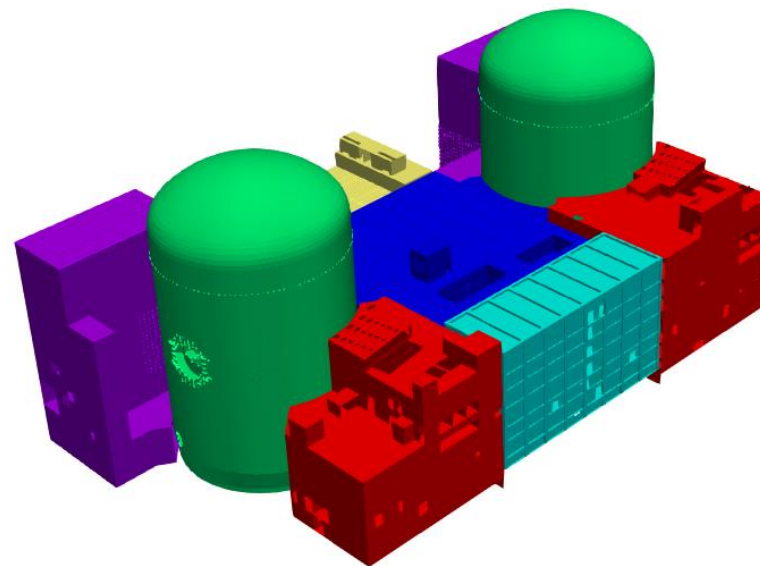
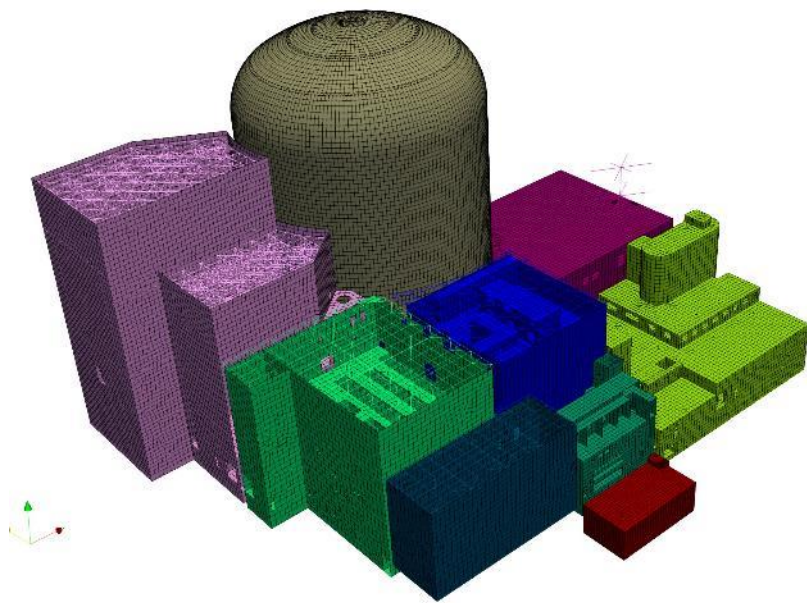


EPR

# Evolution des modèles EF



# Evolution des modèles EF





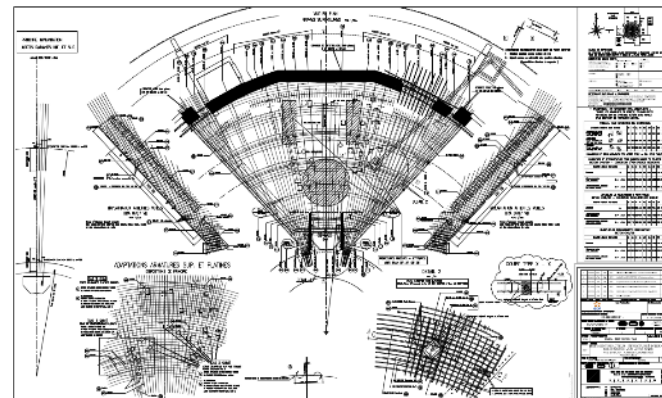
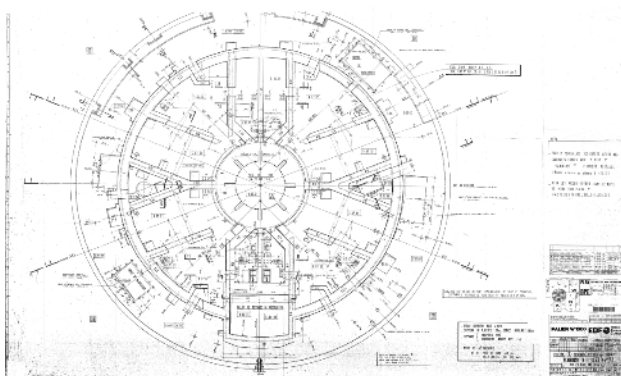
## **4. Construction / Exécution**



# Schémas industriels

## Par le passé

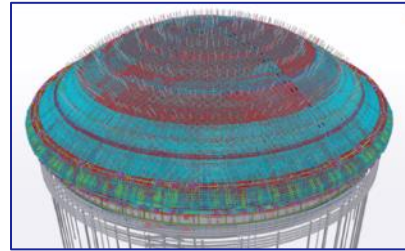
- ❑ Projets en conception-réalisation pour le palier CP0
  - Fessenheim -> Campéon Bernard
  - Bugey -> Bouygues
  - Quelques contrats d'études pour Coyne & Bellier
- ❑ Scission contrats études & réalisation pour les paliers suivants : CP1, CP2, P4, P'4, N4
- ❑ Pour EPR Flamanville 3, les études EXE ont été réalisées par Bouygues



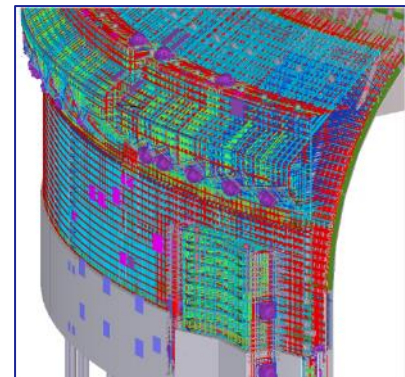


# Actuellement

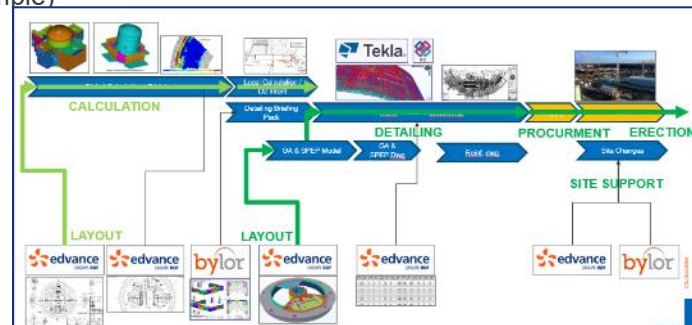
- 



### Maquette 3D - Dôme Enceinte (HPC)



### Maquette 3D - Poutre de couronnement (HPC)



# Schémas industriels

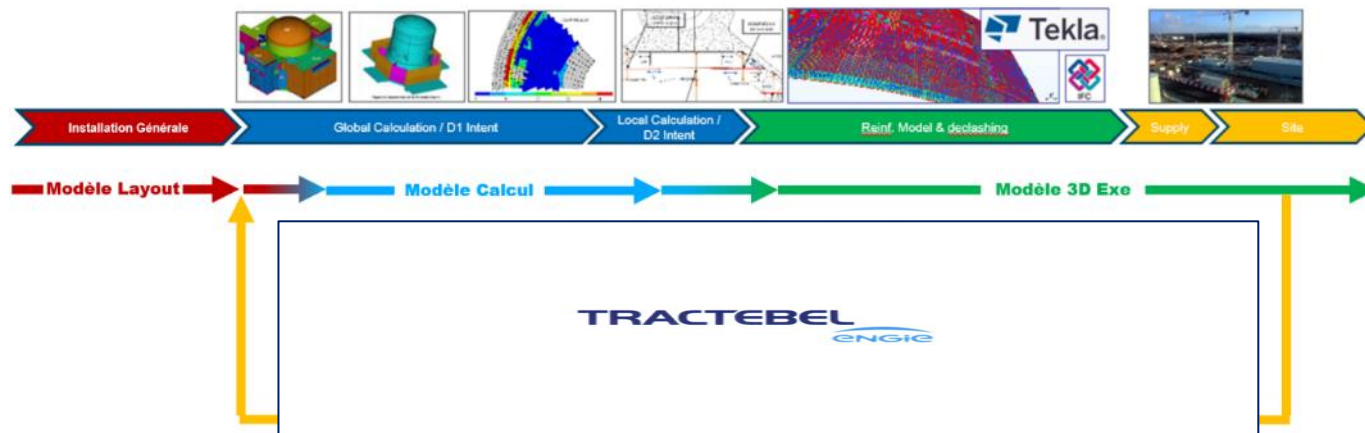
## A l'avenir

### □ SMR/AMR - Implication des constructeurs dès les phases de Basic Design

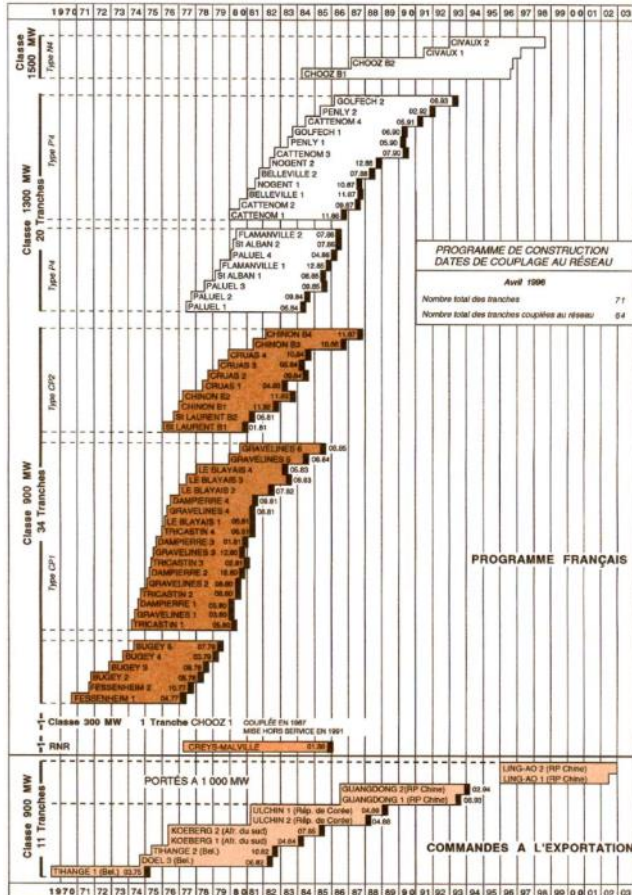
- Coûts / Plannings
- Faisabilité / Constructibilité
- Modularité / Standardisation

### □ Complétion de la chaine digitale

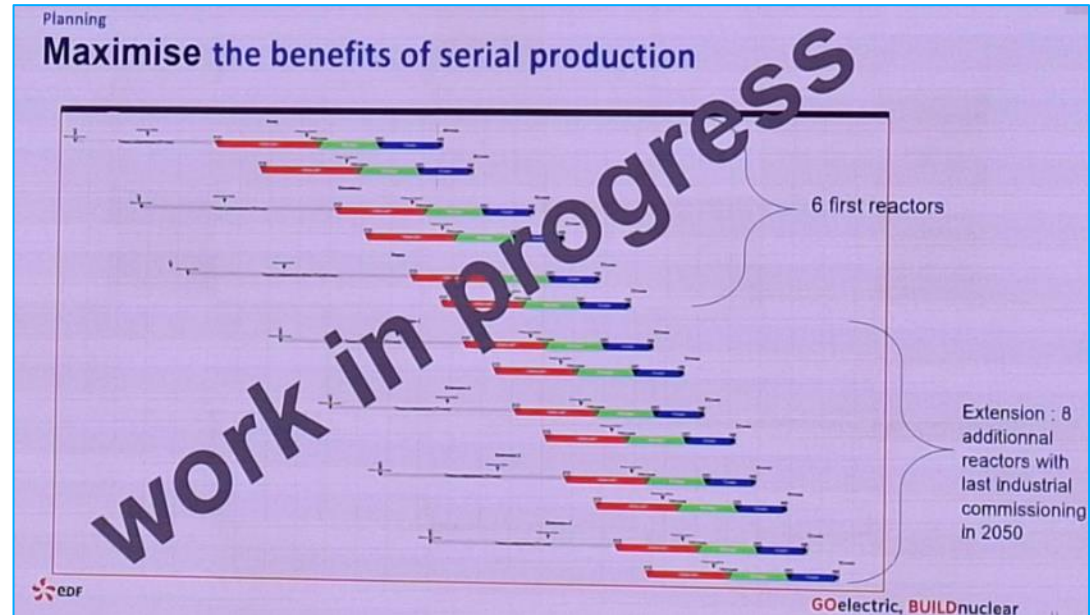
- Continuité Architecture / Conception / Dimensionnement / Detailing / Approvisionnement / Construction / Opération / Réévaluation / Démantèlement
- Standardisation et effets de série




# Délais de réalisation




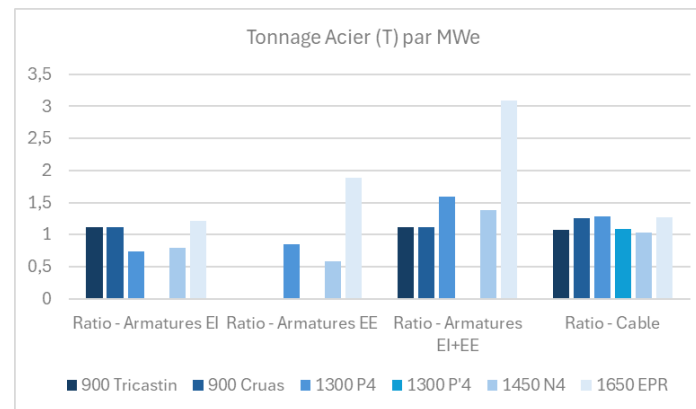
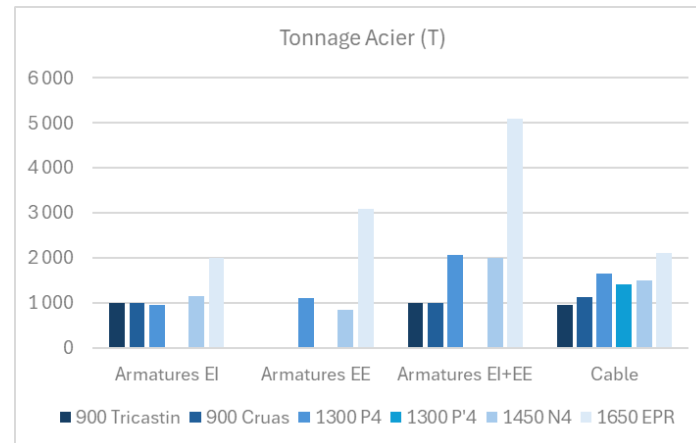
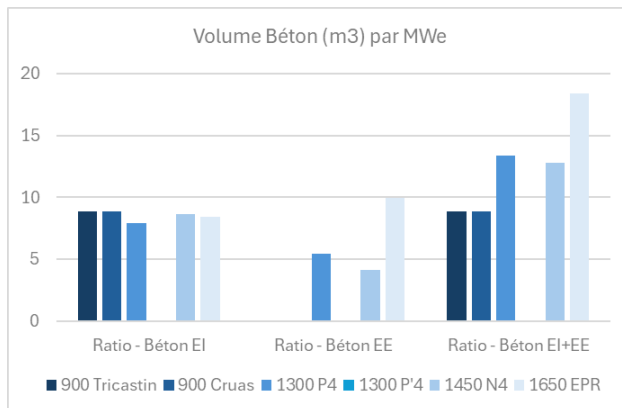
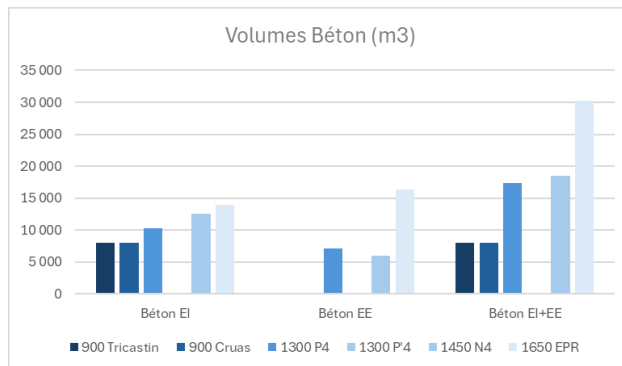
- Effet palier très bénéfique sur le parc
- EPR OL3 : **16 ans**
- EPR Flamanville 3 : **16 ans** de travaux
- EPR Taishan 1/2 : **9 ans**
- EPR2 : Task force **70 mois** d'EDF (< **6 ans**)
- Nuward : livraison en **48 mois** (**4 ans**)



# Quantités

Enceinte	Volume béton (m³)	Armatures (tonnes)	Câbles précontrainte (tonnes)
Fessenheim			
Tricastin			
Cruas			
P4			
P'4			
N4			
EPR			

Ilôt Nucléaire	Volume béton (m³)	Armatures (tonnes)
N4		
EPR		





# Construction / exécution

Tricastin



Civaux



# Construction / exécution

EPR Flamanville 3



EPR HPC





# Test injection câbles

EPR Flamanville 3



# Test injection câbles

EPR HPC



gamma



horizontal



horizontal



vertical



Contrôle par section du  
câble

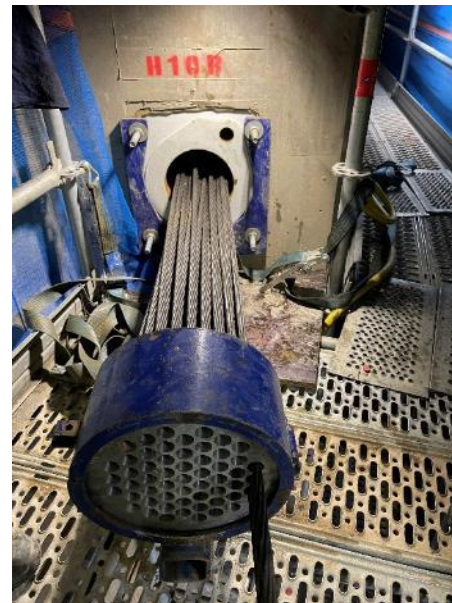
PUBLIC



# Installation gaines et tubes

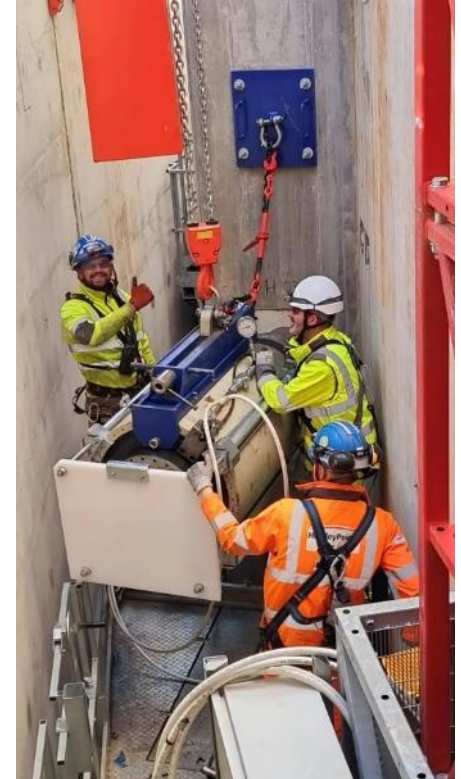
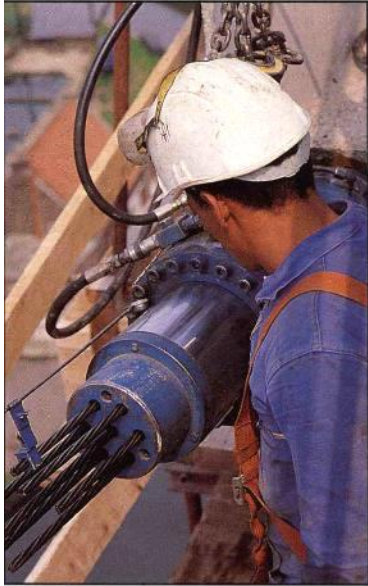


# Enfilage des torons





# Mise en tension câbles



## Palier CPY

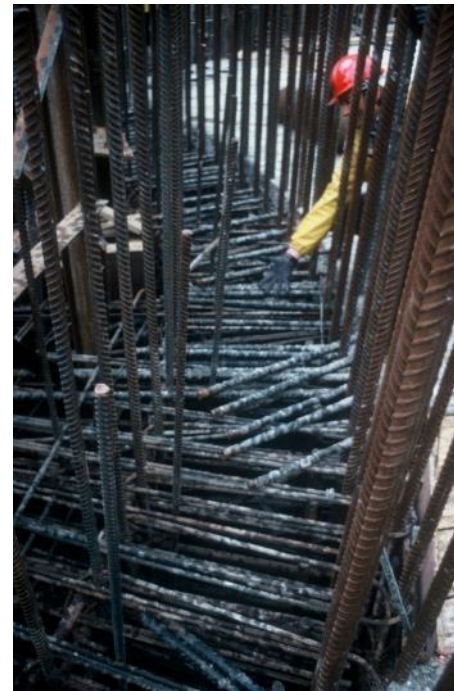




## EPR HPC



# Installation des armatures

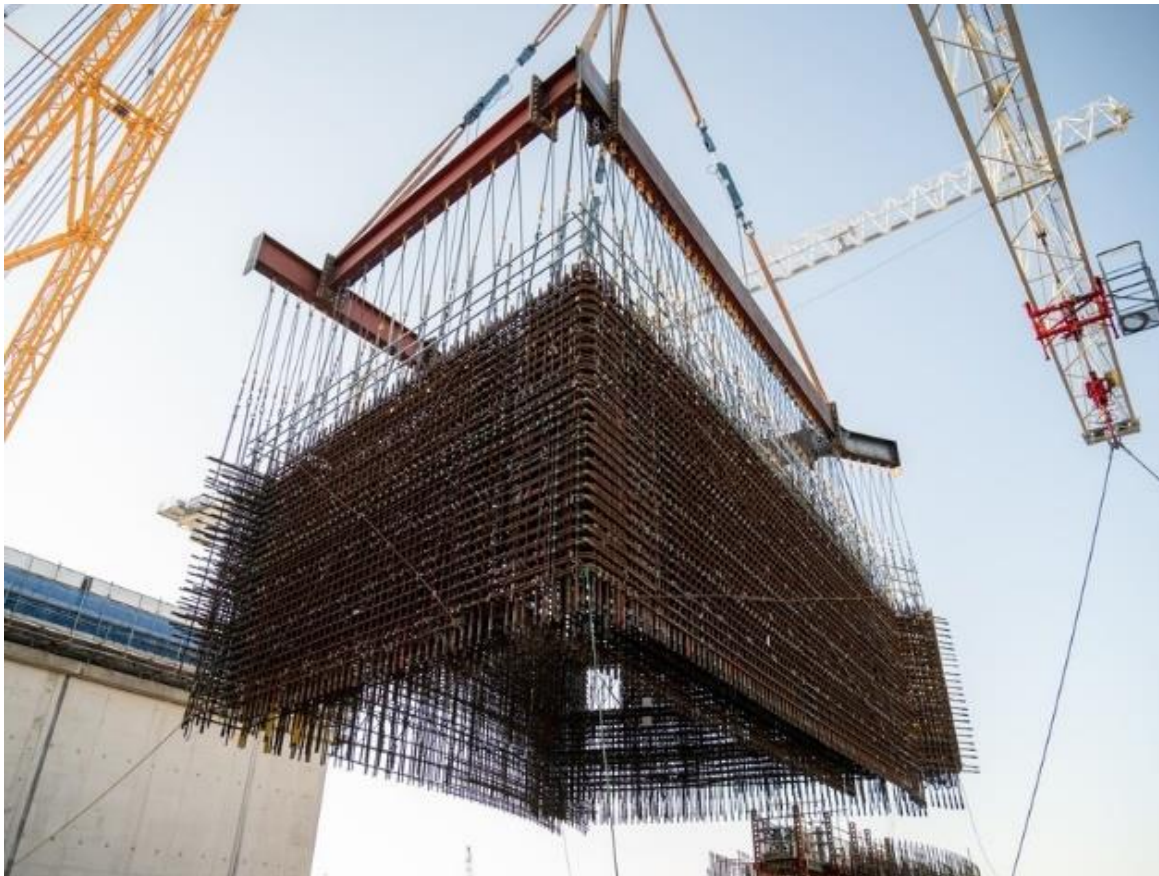




# Préfabrication cages armatures



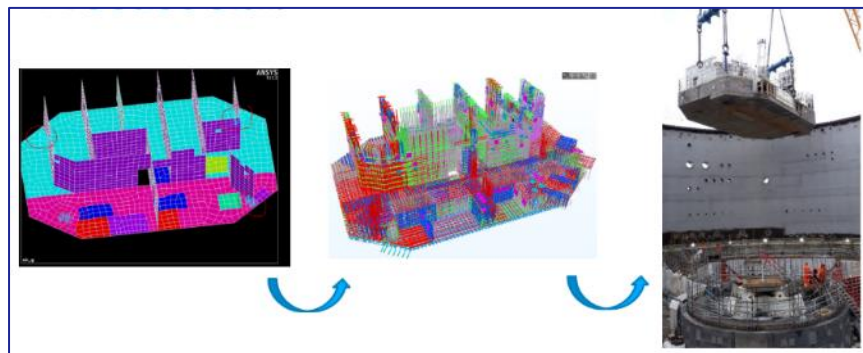
# Préfabrication cages armatures



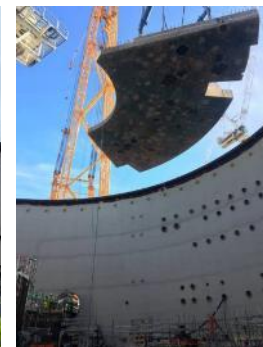
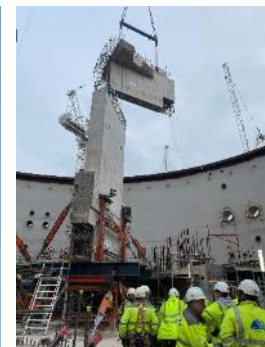


# Préfabrication lourde

EPR Taishan (in-situ)



EPR HPC (Heavy Precast)





# **5. Perspectives d'évolutions**





# Nouveaux enjeux – BE Génie Civil

## 1. Applications filière - Panorama

Large Scale Reactor  
New Build



Large Scale Reactor  
Extension



Decom & Dism



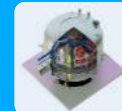
Fuel & Radwaste



Defence



SMR / AMR



Sites

Design

Réalisation  
-  
Méthodes

Réalisation  
-  
Temps

Défis GC  
&  
Thématiques  
clés

TRACTEBEL  
ENGIE

# Nouveaux enjeux – BE Génie Civil

## 1. Applications filière - Illustration Modularité

### Key take aways

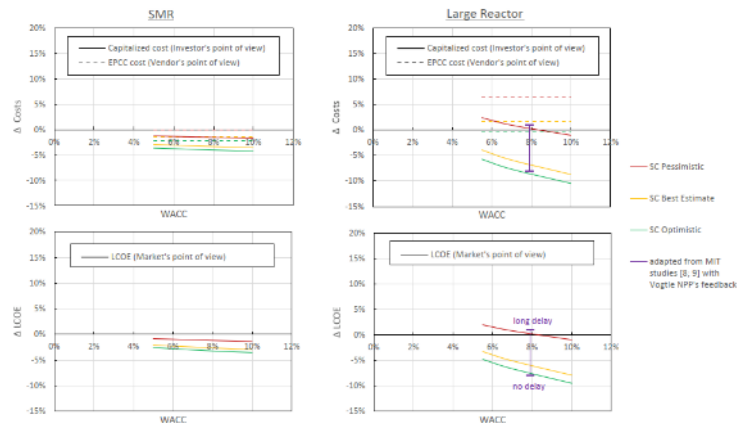


FIG. 7. Effect of steel-concrete (SC) vs. reinforced concrete (RC) on the EPCC cost, the capitalized cost, and the cost of electricity generation (application of methodology Fig. 3)

## STEEL-CONCRETE MODULAR CONSTRUCTION. ECONOMIC IMPACT ON THE LEVELIZED COST OF ELECTRICITY FOR LARGE REACTORS OR SMR

PM. ALLIARD, J. NIEPCERON, G. CROZET, V. MAUPU  
Nuward Edf  
Lyon, France  
Email: pierre-marie.alliard@nuward.com



FIG. 4. Steel-Concrete modules  
(SCHEDULE mock-up at the site of EDF R&D in Les Renardières)

Reference case : Reinforced Concrete	Large Reactor	SMR
Power range MW	> 1000	200-400
Pre-construction cost	0,60%	2%
Design cost	10%	13%
Direct construction cost	DIR	62%
(incl. civil works NI)	74%	(8%)
(incl. civil works CI)	(28%)	(8%)
(incl. civil works BoP)	(6%)	(4%)
Indirect services cost	INDIR	10%
Owner's costs	OWN	5%
Overnight Construction Cost	OCC	5000 \$/kWe
Weighted Average Cost of Capital	WACC	9%
Construction duration (FOAK)	Tc	7 yrs
(incl. FOAK civil works critical path since 1st concrete)	x 0,7	5 yrs
Financial cost (FOAK)	IDC	+30%
Contingencies		not evaluated
Lifetime	60 yrs	
Payback	T	35 yrs
Average capacity factor		0,92
Capital annuity payment	CRF.KC	77 \$/MWh
Operation and Maintenance	O&M	13 \$/MWh
Fuel cycle	F	9 \$/MWh
Decommissioning and Dismantling	D&D	1 \$/MWh
Levelized cost of electricity	LCOE	100 \$/MWh
		[EXERCISE PURPOSE ONLY]

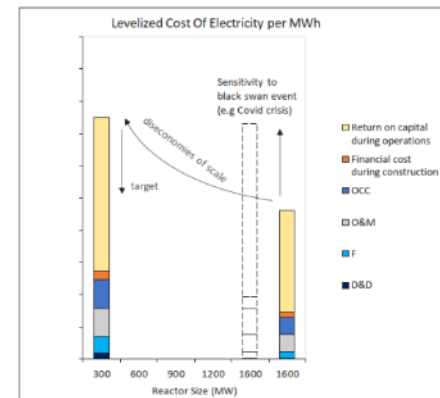
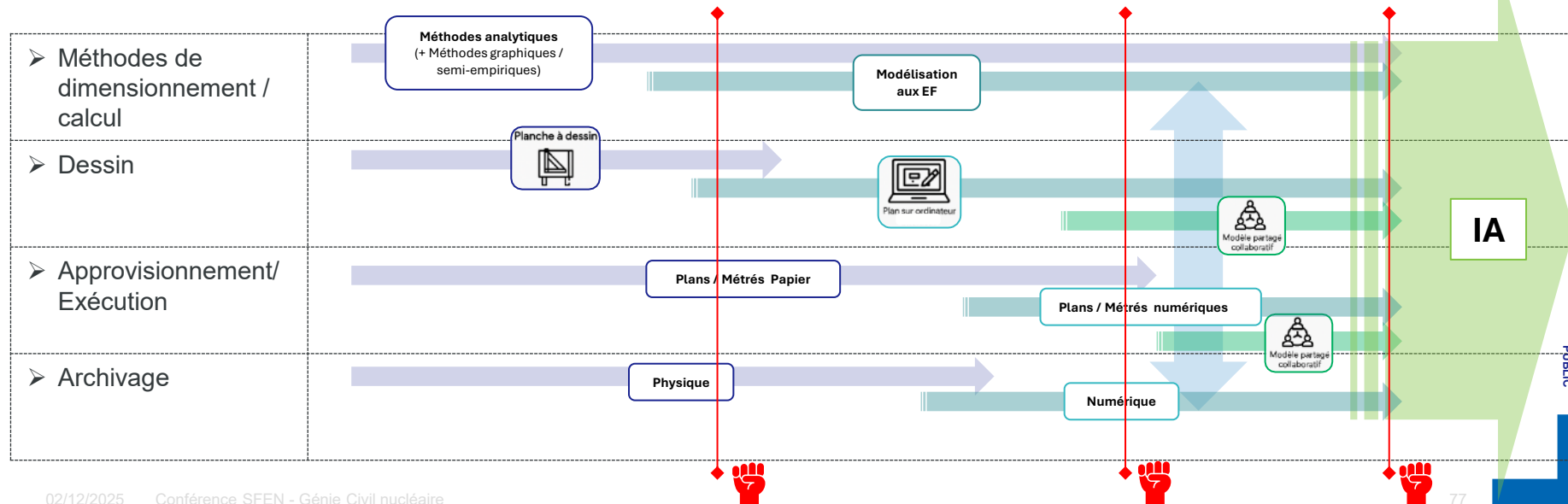
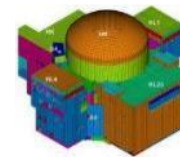
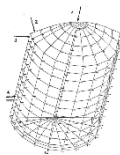


FIG. 5. Reference plants parameters and LCOE in reinforced concrete before cost & planning reduction by SCS (inspired by literature review, no relationship with any specific project)

# Nouveaux enjeux – BE Génie Civil

## 2. Evolution de nos outils, documentation

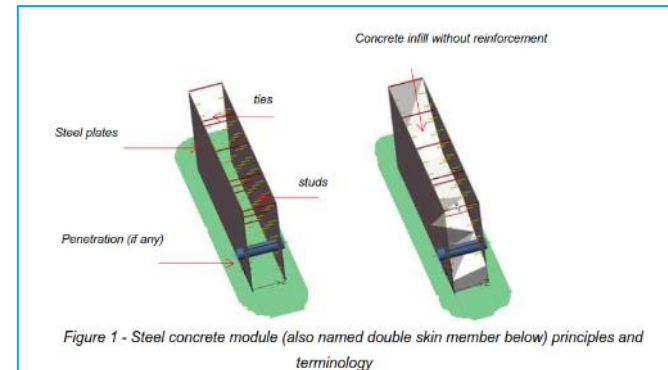
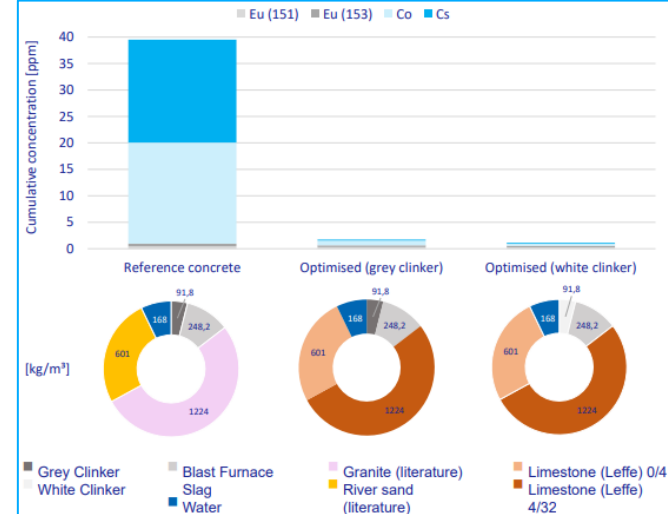
↑  
✊ : «Révolution» technologique



# Nouveaux enjeux – BE Génie Civil

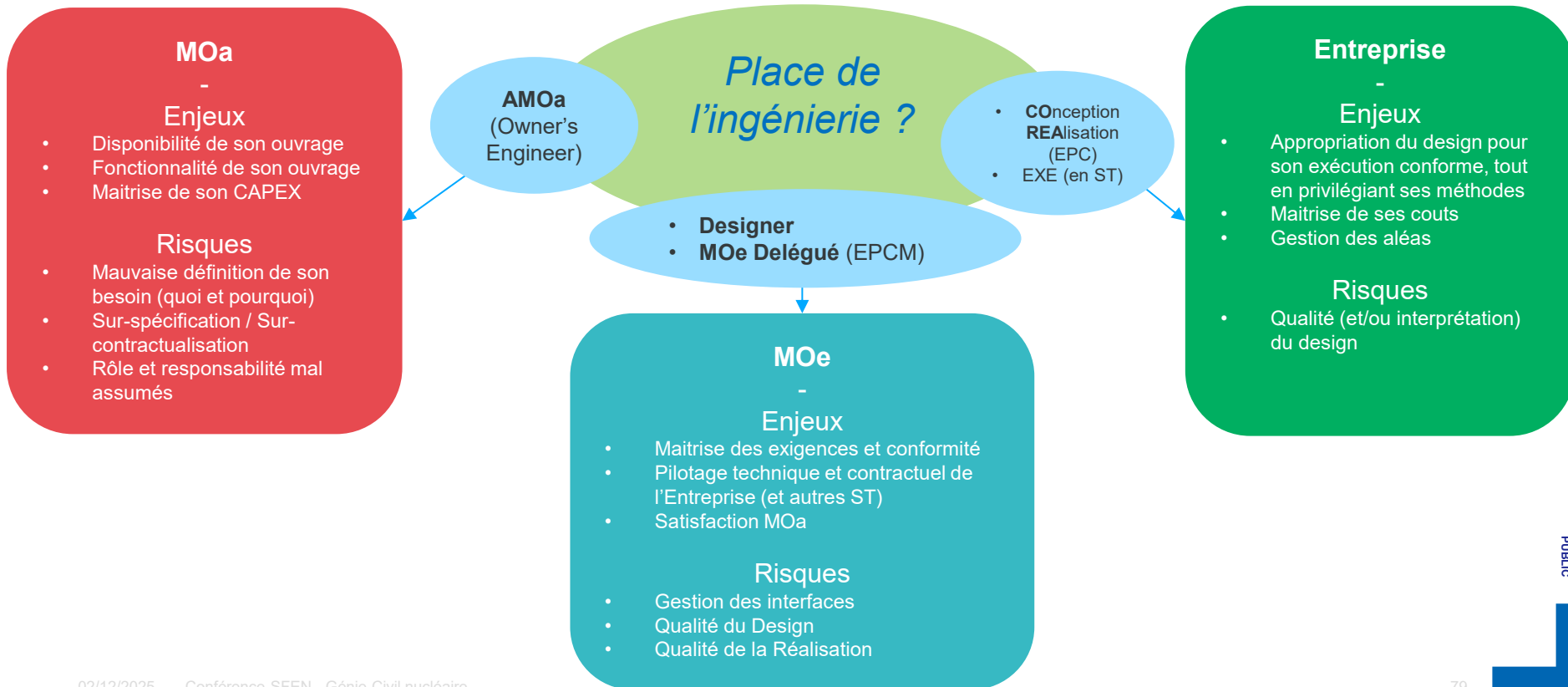
## 3. Evolution et maitrise des matériaux de construction

- Béton « bas carbone »
- Béton « faiblement activable »
- Béton « Haute Température »
- Durabilité et maitrise de la fissuration (« *Safety class 1 concrete* »)
- Steel-Concrete modules (composant « sandwich »)
- Autres
  - Béton haute résistance (jusqu'à C100/115 dans Eurocode 2 nouvelle génération)
  - Béton fibré (annexe informative dans Eurocode 2 nouvelle génération)
  - Impression 3D
  - Etc.



## 4. Evolution des marchés de la construction 1/2

Contexte FR « Loi MOP »



## 4. Evolution des marchés de la construction 2/2

Evaluation des **Enjeux & Risques & Responsabilités**  
(Techniques / Financiers / Juridiques)



Evaluation des **Capacités des intervenants**  
(Compétences et Moyens financiers, matériels, humains)

**Organisation**  
**« Loi MOP »**



**Conception**  
**Réalisation**



Exemples de fonctionnement déficient

- Rôles et responsabilités du MOa/MOe mal assumés
- Sur-protection du MOa (sur-spécification, sur-contractualisation)
- Faible gestion des interfaces
- Etc.



- *Responsabilité de la conception*
- *Faisabilité technique globale*
- *Interfaces Etudes / Réalisation*



Exemples de fonctionnement déficient

- Projet pas assez ou mal défini
- Part de risques embarqués par l'entreprise trop importante = COUTS pour le MOa
- Etc.



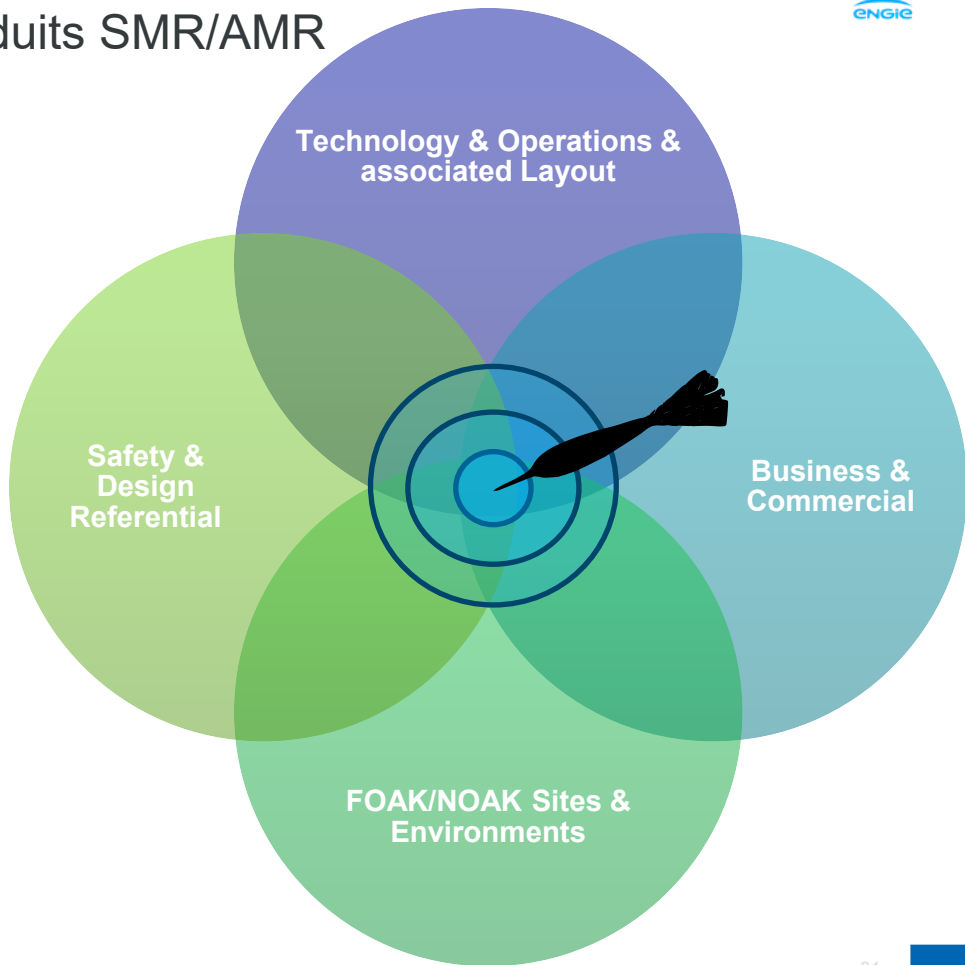
**Contrats « collaboratifs »**

- Early Contractor Involvement in Design
- NEC Type contract



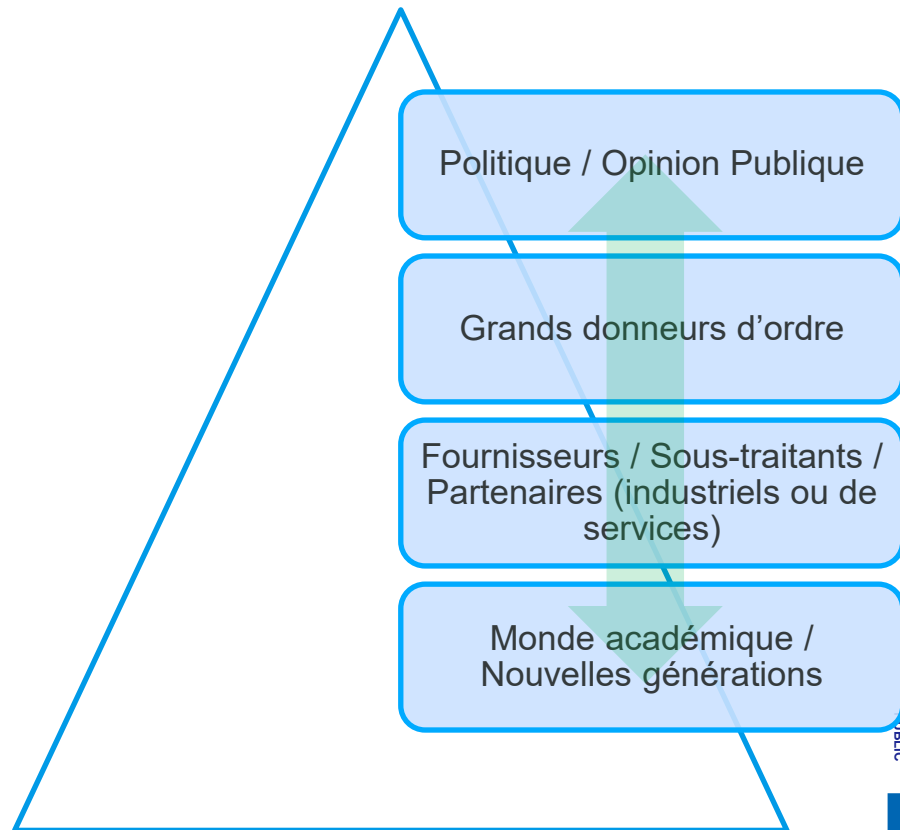
## 5. Design générique des nouveaux produits SMR/AMR

- Produit générique = Synthèse (+ ou – exhaustive) de fonctions, contraintes et exigences choisies ou imposée
- Enjeux
  - Appuyer les développeurs pour trouver un optimum de standardisation
  - Travailler sur la sécurisation des plannings (marchés ciblés dynamiques et réactifs)



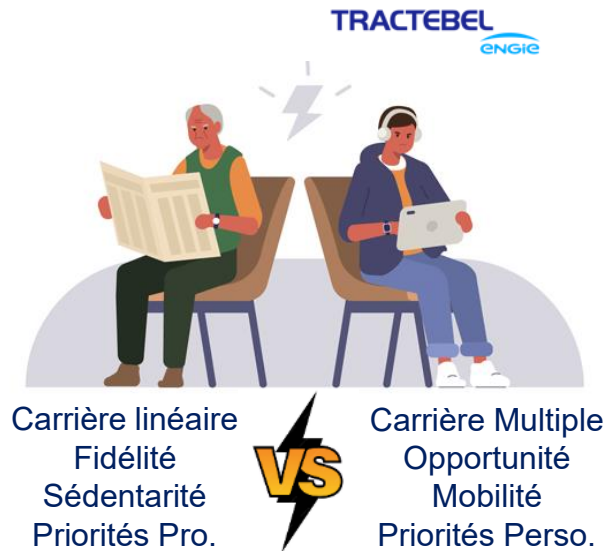
## 6. Compétence et Organisation de la filière nucléaire

- Plan Excell lancé en 2020 par EDF en partenariat avec le GIFEN – 5 axes fondamentaux
  - Gouvernance
  - Compétences
  - Fabrication & Construction
  - Supply Chain
  - Standardisation & Réplication
- De nombreux groupes de travail pour identifier et **mettre en place des leviers de performance**
- Enjeux
  - Crédibilité, pérennité, continuité de la filière
  - Souveraineté énergétique, sécurité



## 7. Evolutions sociétales

- 'Globalisation' de nos modèles d'organisation en entreprise
  - Productions « multisites », « multiculturelles »
  - «Off-shorisation » des études
- Attentes et priorités de nos ingénieurs changent
- Conséquence = Adaptation des entreprises
  - Outils et plateformes d'échanges et de communication
  - Somme de mémoires individuelles -> **Organisation à mémoire organisationnelle**
    - Documentation Management
    - Knowledge Management & Trainings
    - Quality Management
  - Well-being at Work
  - Donner du sens à nos stratégies





**Merci pour votre attention**



# Remerciements

- SFEN Provence
- Contributeurs de Tractebel à cette présentation
- EDF et en particulier Frédéric Coppel pour le partage de ses archives

# We have solutions to your challenges



## Martin GUICHARD

Directeur Métier Génie Civil  
Business Area Gas Energy Nuclear  
[martin.guichard@tractebel.engie.com](mailto:martin.guichard@tractebel.engie.com)



## Romain RAGOUIN

Directeur Technique Métier Génie Civil  
Business Area Gas Energy Nuclear  
[romain.ragouin@tractebel.engie.com](mailto:romain.ragouin@tractebel.engie.com)

[tractebel-engie.com](https://tractebel-engie.com)

