



Cyrille CLAUDE (EDF Direction Industrielle)
Ludovic CABA (EDF Direction Technique)
Thierry JOSSERON (EDVANCE Service Génie Civil
Bâtiment)
Arnaud LANA (EDVANCE Service Construction)
Edouard MACHADO (EDVANCE Service
Construction)
Nagham ABDELRAHMAN AL HAJJ CHEHADE
(EDVANCE Service Construction)
Matthieu VUILLERME (EDVANCE Service
Construction)

Projet Hinkley Point C

PROTÉGER NOTRE PATRIMOINE



CHARTRE ETHIQUE :

Chaque salarié s'engage à traiter de façon responsable les informations qu'il détient dans le cadre de son travail et respecter les règles de sécurité et de confidentialité, en particulier concernant les données sensibles

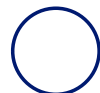
BONS REFLEXES :

- Rester discret et vigilant dans les lieux publics
- Pour les documents sensibles, utiliser des moyens de protection adaptés

A modifier si besoin :



Cette réunion aborde des sujets internes



Cette réunion aborde des sujets restreints dont la divulgation peut être préjudiciable à Edvance : chacun s'engage à n'en communiquer les supports et à n'en relater les échanges qu'avec discernement et en mentionnant explicitement « à ne pas rediffuser / à ne pas divulguer »



Cette réunion aborde des sujets de nature confidentielle, chacun s'engage à tenir secrètes les informations tant écrites qu'orales qui y sont exposées.
Chaque dépositaire de cette présentation s'interdit de la communiquer à quelque tiers que ce soit sans l'accord du président de séance

PROTECTING OUR ASSETS



ETHICAL CHARTER :

Each employee undertakes to treat the information he or she holds in the course of his or her work responsibly and to respect the rules of security and confidentiality, in particular with regard to sensitive data.

GOOD PRACTICES :

- Remain discreet and vigilant in public areas
- For sensitive documents, use appropriate means of protection

To be modified if necessary:



Not protectively marked



UK Official - Sensitive SNI - Subject to UK export control



UK Official - Sensitive SNI - Subject to US export control



UK Protect - Commercial and Contracts



UK Protect - Commercial and Contracts - Subject to UK export control



UK Protect - Commercial and Contracts - Subject to US export control



UK Protect - Proprietary

Sommaire

1. Présentation générale du projet
2. Préfabrication lourde en béton armé
3. Réalisation du liner de l'enceinte de confinement
4. Utilisation des T-headed bars
5. Questions



N°1

Projet HPC

Présentation générale

1. Projet HPC – Présentation générale

LE PROJET EPR :

- **EPR : European Pressurised Reactor puis Evolutionary Power Reactor**
 - Premières esquisses dans les années 90, avec REP2000/N4+ en France et Konvoi B en Allemagne
 - Relance du projet au début des années 2000
 - Premier projet lancé : Olkiluoto 3, démarrage en 2003
 - Flamanville 3, démarrage en 2007
 - Taishan 1 et 2, démarrage en 2009
 - Hinkley Point C, démarrage en 2016
 - Evolutions ultérieures et futurs projets : EPR2 (6 + 8 tranches), Sizewell C, EPR1200
- **Des évolutions nombreuses :**
 - Prise en compte de nouvelles agressions : choc avion, inondation plateforme renforcée et perte des sources électriques (post-Fukushima), changement climatique,...
 - Récupérateur de corium
 - Diminution

1. Projet HPC – Présentation générale



1. Projet HPC – Présentation générale

LE PROJET HINKLEY POINT C :

- Quelques dates

2009 : démarrage de l’instruction du modèle EPR par l’autorité de sûreté britannique (Generic Design Assessment)

2012 : fin du process d’instruction et validation du site d’Hinkley Point pour l’implantation de deux tranches (Nuclear Site Licensing)

2013 : accord commercial entre EDF et le gouvernement britannique sur le prix de vente de l’électricité ; EDF s’associe à Areva et CNNC/CGN

2016 : démarrage des travaux

2018 : bétonnage du radier de la tranche 1

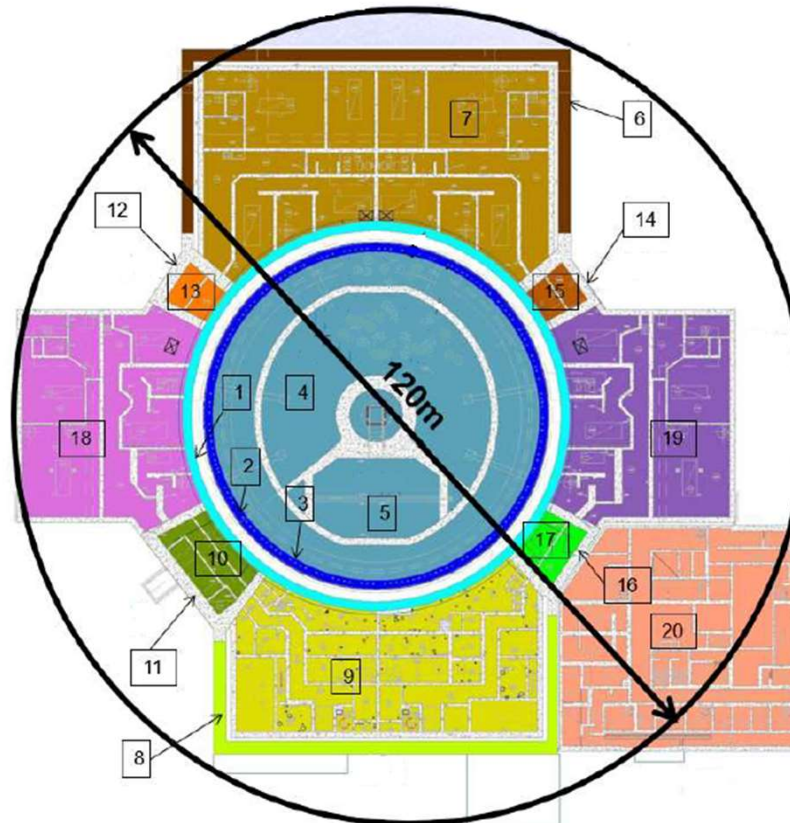
2019 : démarrage des travaux de la tranche 2, arrivée de « Big Carl », la grue SGC-250 de Sarens et premier levage du liner (bassine)

2023 : arrivée de la cuve du réacteur n°1 sur site et pose du dôme du bâtiment réacteur n°1

1. Projet HPC – Présentation générale

Une zone de construction de l'îlot nucléaire concentré dans un rayon de 120 m

- 150 000 m³ de béton,
- 35 000 t d'armatures
- 700 000 coupleurs
- 3500 t platines
- 7 grues à tours et une grue lourde



Plus de 20 équipes doivent travailler simultanément

- 1- Reactor Outer Containment,
- 2- Reactor Liner Containment,
- 3- Reactor inner Containment,
- 4- Reactor Internal Structure,
- 5- Reactor Pools,
- 6- Safeguard Building APC SHELL,
- 7- Safeguard Building 2/3 Int. Structure
 - a- slab,
 - b- walls,
- 8- Fuel Building APC SHELL,
- 7- Fuel Building 2/3 Int. Structure
 - a- slab,
 - b- walls,
- 9- Fuel Building Pools,
- 10- Staircase 1 APC SHELL,
- 11- Staircase 1, Int. Structure
- 12- Staircase 2 APC SHELL,
- 13- Staircase 2, Int. Structure
- 14- Staircase 3 APC SHELL,
- 15- Staircase 3, Int. Structure
- 16- Staircase 4 APC SHELL,
- 17- Staircase 4, Int. Structure
- 18- Safeguard Building 1 Int. Structure,
- 19- Safeguard Building 2 Int. Structure,
- 20- Nucl. Auxiliary Building Int. Structure
 - a- slab,
 - b- walls

1. Projet HPC – Stratégie de préfabrication

Gains associés

- Délocalisation d'activités de la zone de construction des bâtiments
- Activités de construction en parallèle et non en série
- Décongestion des zones de travail : réduction de la coactivité
- Optimisation des temps d'utilisation des grues de la zone de l'îlot nucléaire
- Amélioration de la sécurité : travaux dans zones aménagées (accès, système de manutention)
- Amélioration de la qualité de réalisation : fabrications en ateliers forains mieux équipés
- Fiabilisation et accélération du planning

N°2

Préfabrication lourde en béton armé

Projet HPC

2. Projet HPC – Stratégie de préfabrication

Gains associés

- Délocalisation d'activités de la zone de construction des bâtiments
- Activités de construction en parallèle et non en série
- Décongestion des zones de travail : réduction de la coactivité
- Optimisation des temps d'utilisation des grues de la zone de l'îlot nucléaire
- Amélioration de la sécurité : travaux dans zones aménagées (accès, système de manutention)
- Amélioration de la qualité de réalisation : fabrications en ateliers forains mieux équipés
- Fiabilisation et accélération du planning

2. Projet HPC – Grue lourde

« Big Carl »

- Grue SARENS SGC 250
- 250 mètres de hauteur
- 5 000 tonnes - charge utile dans un rayon de 40 m.
- 3 mois de montage
- 280 camions
- 96 roues
- 12 moteurs
- 70 levages à plus de 140 m

Precast elements lifts	Nb (in 2017)
Weight ≤ 10 T	122
10 T < Weight ≤ 20 T	29
20 T < Weight ≤ 50 T	118
50 T < Weight ≤ 100 T	137
100 T < Weight ≤ 200 T	108
200 T < Weight ≤ 500 T	102
500 T < Weight ≤ 700 T	8
700 T < Weight ≤ 1000 T	6
1000 T < Weight ≤ 1200 T	0
1200 T < Weight ≤ 1400 T	2
1400 T < Weight ≤ 1600 T	2
Total	632



2. Préfabrication lourde en béton armé

Activités de préfabrication

- Préfabrication des cages de ferrailage
- Préfabrication lourde de l'enceinte du bâtiment réacteur
- Préfabrication lourde en béton armé
- Préfabrication lourde des baches inox ASG, RBS, RRI
- Préfabrication lourde des piscines du bâtiments réacteurs et du bâtiment combustible



2. Préfabrication lourde en béton armé

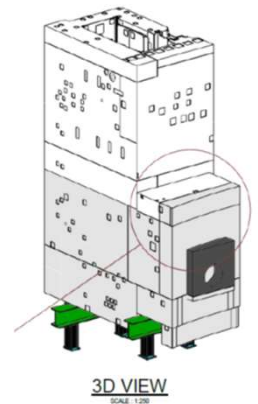
Typologie des éléments préfabriqués rencontrés sur HPC

- T1. Parties de bâtiment composées de voiles et de dalles de plusieurs étages.
- T2. Puits de grande hauteur sur plusieurs étages
- T3. Grandes dalles de plancher couvrant un local entier
- T4. Gains de ventilation (jusqu'à 7500kg)
- T5. Escaliers
- T6. Petites poutres et poteaux

≥ 12 tonnes/ max 750 tonnes

≤ 12 tonnes

Seuls les types de préfabriqués T1, T2 et T3 ont été entièrement traités au cours du processus de conception (séquence d'ingénierie) - ce qui a parfois conduit des écarts et des modifications concernant les phases temporaires (levage...) pour les types T4 à T6.



2. Préfabrication lourde en béton armé

Préfabrication lourde de plancher

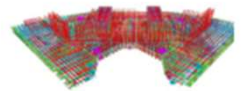


Séquence de construction

U1 – HR

Structures internes – HRX-03

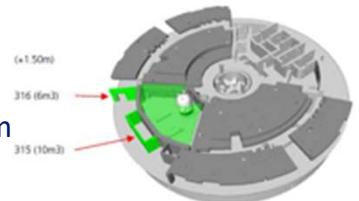
Dalle centrale nord préfabriquée +1,50 m



U1 – HR

Structures internes – HRX-03

Dernière dalle préfa installée +1,50 m



2. Préfabrication lourde en béton armé

Préfabrication lourde de voile



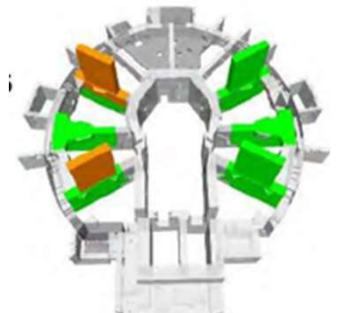
Activités de préfabrication U1 – HR

Structures internes - HRX 05/06

Murs radiaux (+4,60 m à +16,00 m)



Séquence de construction



2. Préfabrication lourde en béton armé

Préfabrication lourde de plancher et voile



Séquence de construction

U1 – HR



Dalle préfabriquée sud HRX-02 et murs préfabriqués sud HRX-03



U2 – HR

Structures internes HRX-02/03

Voiles et dalles sud (-2,30m à +0,90m)



2. Préfabrication lourde en béton armé

Appareils de levage



2. Préfabrication lourde en béton armé

Dispositif de soutènement provisoire



2. Préfabrication lourde en béton armé

Séquence étude et données d'entrée

HPC a été le premier EPR avec une stratégie de mise en œuvre systématique de préfabrifications lourdes

Les contraintes spécifiques rencontrées en phase étude ont porté sur :

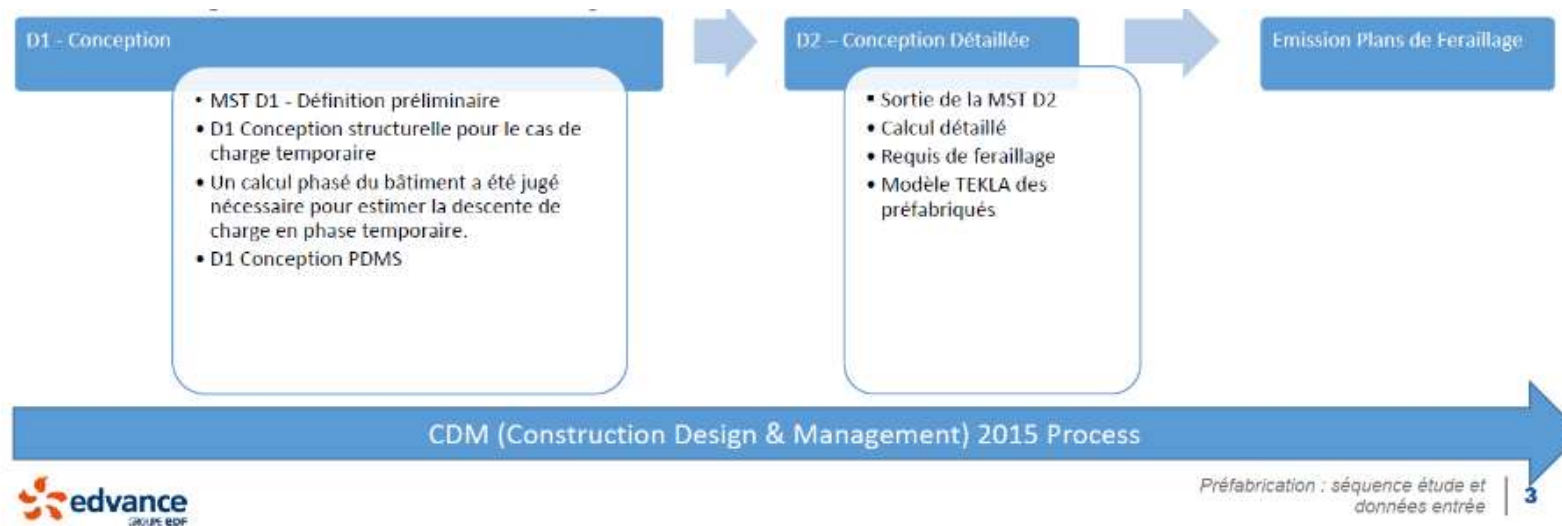
- L'impact du contexte britannique et la législation CDM 2015 impliquant fortement le Concepteur, appelé Responsable designer (RD)
- La répartition des rôles entre Concepteur et Constructeur
- La séquence et les interfaces entre parties prenantes
- La nécessité de développer des processus et méthodes de travail spécifiques
- Les contraintes supplémentaires en phase des études détaillées (intégration des calculs de phase chantier)

Ces contraintes ont conduit à la nécessité de produire une documentation spécifique :

- Fiches techniques sur les éléments préfabriqués (Pre-cast data Sheets)
- La définition d'états temporaires pour les éléments préfabriqués légers (T4-T6)
- Des notes d'hypothèses générales de construction fournissant les hypothèses de conception structurelle à utiliser en conception
- Des abaques de poinçonnement et de charges de vent.
- Des études de calcul phasées.

2. Préfabrication lourde en béton armé

Séquence de conception



- Descente de charge évolutive en phase de construction plus complexe qu'en construction in situ (calculs phasés)
- Interfaces supplémentaires et définition des équipements à anticiper (position et typologie des ancrages, système de levage)
- Positionnement précis des systèmes de supportage (étais, vérins)
- Complexité du calcul du supportage en fonction de l'hétérogénéité des systèmes de supports (raideurs, durée, réactions aux appuis)
- Évolution des descentes de charges en fonction de la présence d'ouvertures tardives dans le GC (augmentation locale du ferraillage)

2. Préfabrication lourde en béton armé

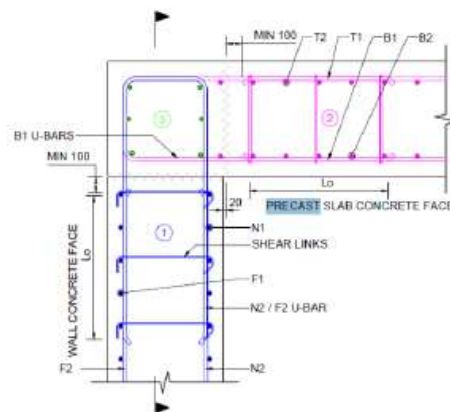
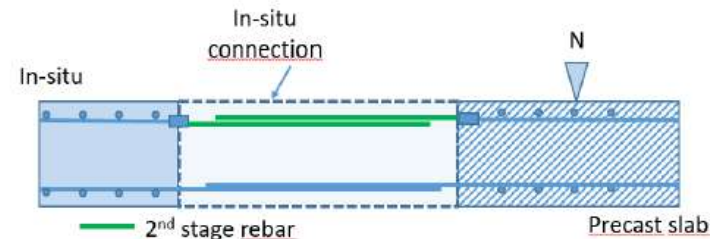
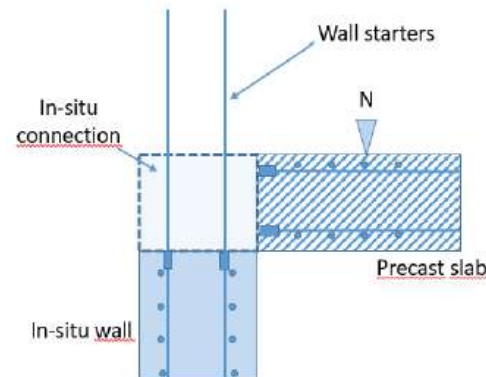
Maîtrise des tolérances à chaque étape de construction

- **Les tolérances associées aux activités de fabrication doivent être explicitement définies dans les spécifications pour chacune des phases de construction :**
 - construction sur l'aire de préfabrication,
 - Levage (maîtrise des déformations)
 - supportage provisoire (positionnement et tolérance dans les 3 directions)
 - clavage sur la zone définitive.
- **La position et la conception des ancrages dans les éléments préfabriqués doivent être analysées pour s'assurer de leur acceptabilité vis-à-vis des exigences d'installation -> exemple : annulation sur site de plusieurs « precasts » côté HL**

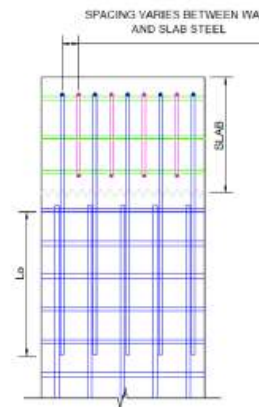
2. Préfabrication lourde en béton armé

Maîtrise des connexions entre éléments préfabriqués et in situ

Un jeu de 20 mm est nécessaire entre l'interface de toutes les barres -> complexité connexion « slab/wall »



ELEVATION



SECTION

- Declashage dans les modèles 3D
- Contrôles topo renforcés en zone de préfabrication et in situ
- Utilisation de gabarits pour la pose des manchons
- Stratégie de connexion en fonction de la complexité du ferrailage
- Aucun élément préfabriqué n'a été complètement libéré de risque de clash (risque modéré)
- Augmentation notable du volume d'heures d'ingénierie (allongement de la séquence d'ingénierie) ; impacts potentiels sur la réalisation

2. Préfabrication lourde en béton armé

Conséquences des Clashes observés sur site

- Ces situations ont pu conduire à :
 - Réduire les marges du design (barres verticales ne pouvant être vissées sur coupleur post-pose...)
 - Scellement de nouvelles barres en remplacement
 - Hydrodémolition
 - Rework supplémentaire par les équipes support du site
 - Retards sur site (jusqu'à 6 mois) pour résoudre ces problèmes
 - Annulation de réalisation de « precasts »
- Les contraintes de tolérances et de clashes sont la raison n°1 d'annulation de « precasts » sur site, car l'effort d'ingénierie est supérieur au gain construction.
- Les requis sur les tolérances doivent être intégrés dès le début de la phase de modélisation ferrailage pour éviter des « reworks » de forte complexité.



N°3

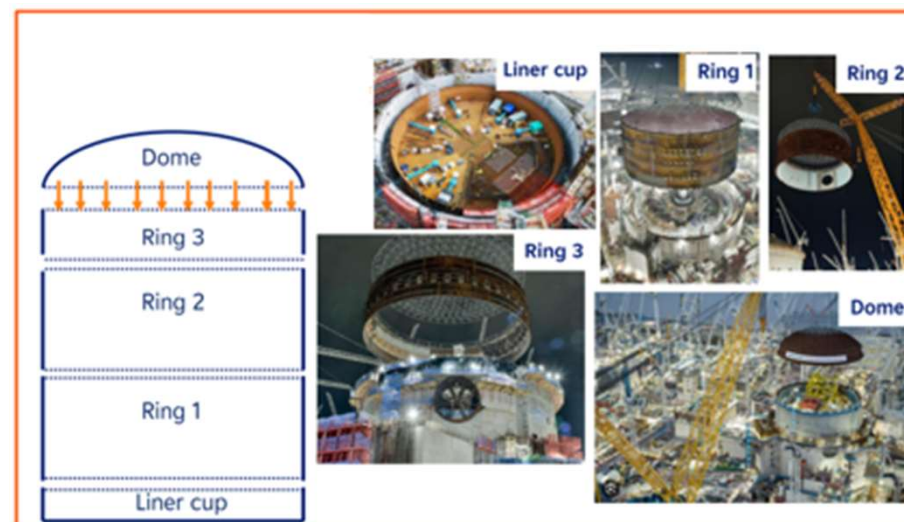
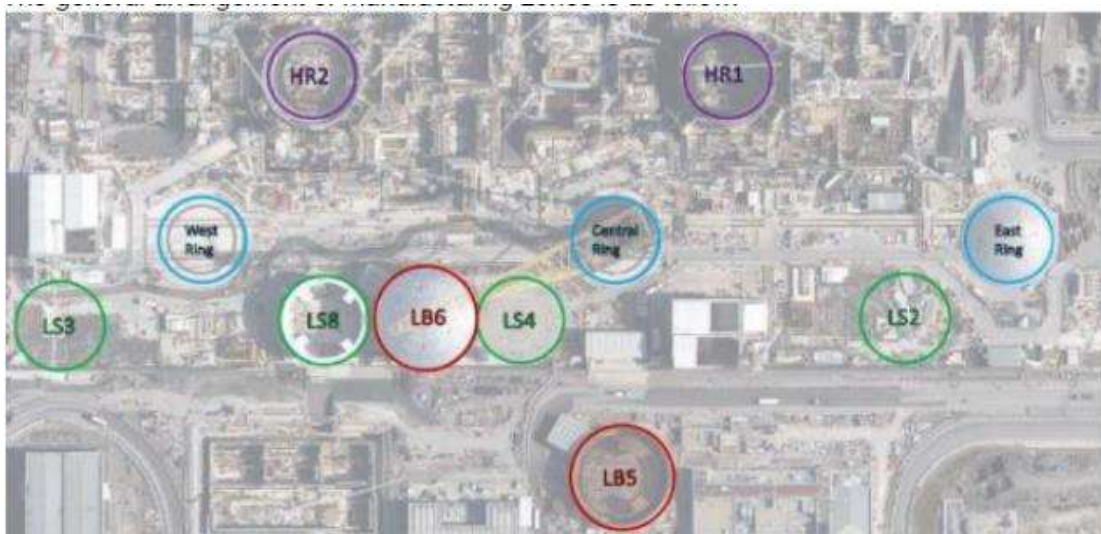
Liner de l'enceinte de confinement

Projet HPC

3. Liner de l'enceinte de confinement

Liner Enceinte

- Zone de préfabrication bunkerisée
- Appareils de levage dédiés
- Installation d'équipements sous dôme
- Mise en peinture



N°4

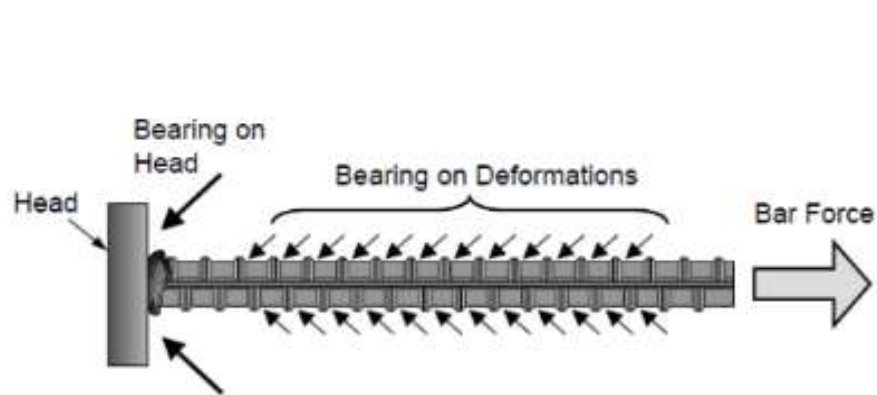
Utilisation des T-headed bars

Projet HPC

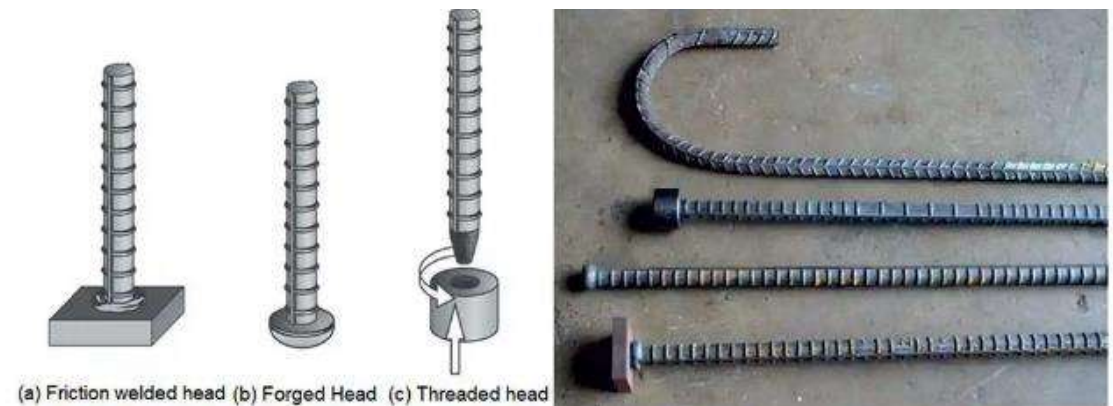
4. Utilisation des T-headed bars

Contexte

Utilisés comme armatures de poinçonnement, de cisaillement, nœuds de connections entre éléments, ...



Principe de fonctionnement d'un T-bar

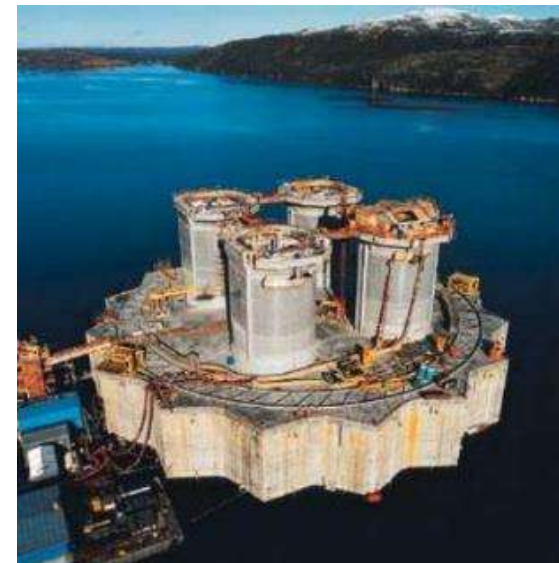
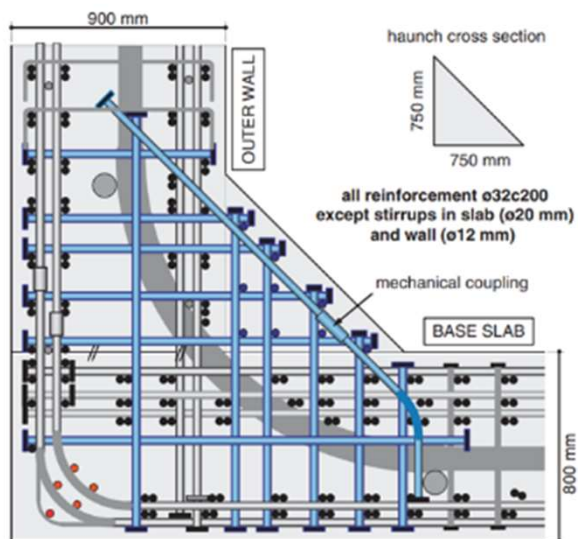


Types des T-headed bars

4. Utilisation des T-headed bars

Application hors nucléaire

- Utilisation développée dans le domaine du offshore notamment dans les fondations fortement ferraillées.
- Utilisation des T-headed bars au niveau des ponts, tunnels, chemins de fer, barrages, gratte-ciels ..



4. Utilisation des T-headed bars

En nucléaire à l'international

- Double T-headed bars pour les radiers de l'AP1000 à VC Summer et Vogtle (USA) ainsi que pour Sanmen et Hayang (Chine).
- Pour une structure de stockage des déchets nucléaires aux Pays – Bas (COVRA), utilisation en voiles et en radier.
- Sur Vogtle, utilisation des T-headed bars simples dans les poteaux et les ouvertures.
- Sur HPC, les « transverse headed bars » ont été utilisées dans les voiles de l'APC et le radier.



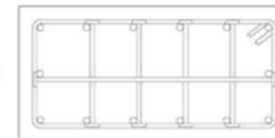
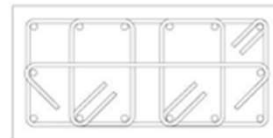
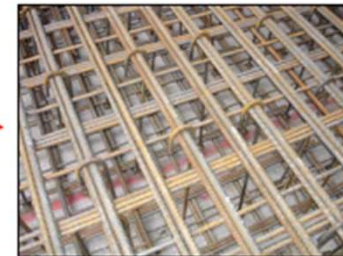
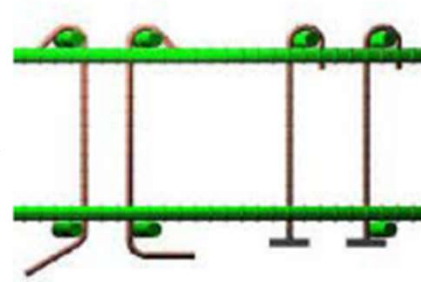
Utilisation des T-headed bars sur Vogtle

4. Utilisation des T-headed bars

Gains associés

✓ En construction

- Gain de temps pour la construction, contrôle plus simple des tolérances de constructions
- Mise en place plus facile avec moins de risques d'accidents du personnel (pas de pliage des épingles sur site)
- Diminution de congestion de ferrailages en proposant de plus gros diamètres

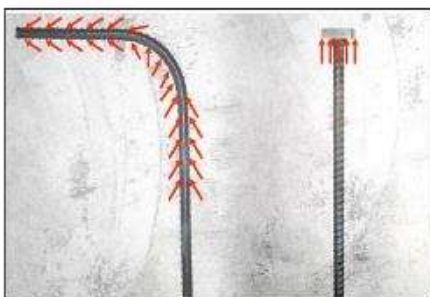


3. Utilisation des T-headed bars

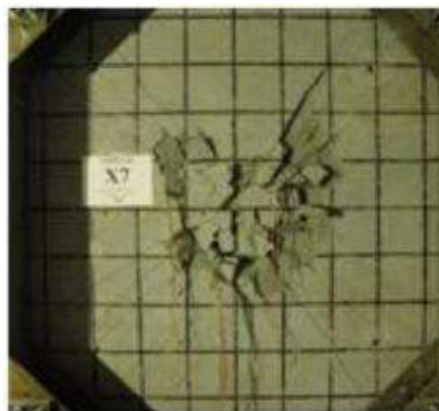
Gains associés

☑ Bon comportement d'ancrage de la barre

- ➡ Evite l'écrasement du béton derrière le coude
- ➡ Meilleure ductilité et moins sensible aux fissurations



- ➡ Reprise du poinçonnement sous choc



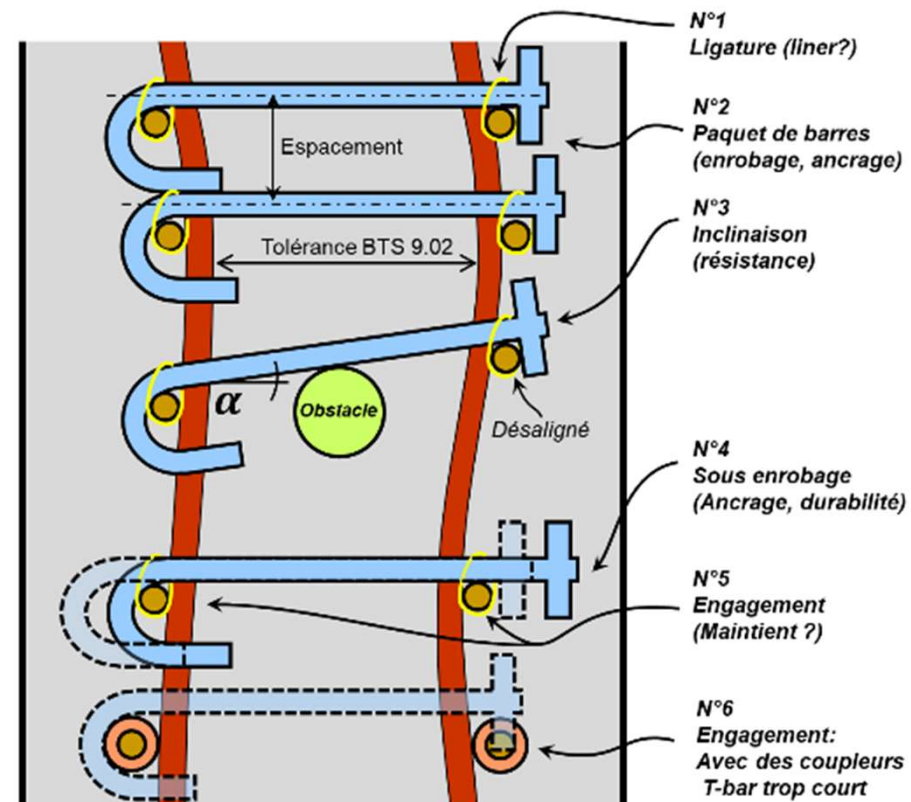
4. Utilisation des T-headed bars

Points d'attention vis-à-vis de la pose

- Requis espacement (têtes)
- Requis ligature (déplacement des barres / bétonnage)
- Respect des tolérances (fabrication + mise en place in-situ)
- Requis de pose du T-headed bar selon son rôle structurel (désalignement)

Points d'attention pour l'étude structurelle

- Cisaillement/poinçonnement
- Fonctionnement Bielle-Tirant des nœuds
- Requis de non-flambement des barres



N°5

Questions

Projet HPC



Merci

