



Le projet Hinkley Point C et les ouvrages souterrains associés



SOMMAIRE

- 1.** Présentation générale du projet Hinkley Point C
- 2.** Présentation de la source froide du projet Hinkley Point C
- 3.** Présentation des ouvrages de prise et de rejet d'eau du projet Hinkley Point C
- 4.** Les spécificités des tunnels hydrauliques pour les centrales nucléaires
- 5.** Focus sur les puits en mer verticaux et leurs connexions
- 6.** Conclusion



1. Présentation générale du projet Hinkley Point C

1. Présentation générale du projet Hinkley Point C

Construction par EDF (70%) en association avec CGNPC (30%) sous maîtrise d'ouvrage NNB (Nuclear New Build) de 2 EPR d'une capacité chacun de 1650 MW.

L'ingénierie est confiée à EDF.

Le Royaume-Uni compte 8 sites et 16 réacteurs

CENTRALES
NUCLÉAIRES
EN SERVICE

Exploitée
par EDF

Exploitée
par Magnox



Sources : GN, AFP

18/10/2013

Localisation Hinkley Point C



Perspective 3D Hinkley Point C

1. Présentation générale du projet Hinkley Point C

Une centrale nucléaire,
2 grands ensembles

PARTIE NUCLÉAIRE



PARTIE NON NUCLÉAIRE



1. Présentation générale du projet Hinkley Point C

La construction a démarré officiellement en 2018 et devrait se terminer en 2027.



Vue de la cinquantaine de grues sur le chantier



Vue de l'avancement du bâtiment réacteur et des bâtiments avoisinants

1. Présentation générale du projet Hinkley Point C



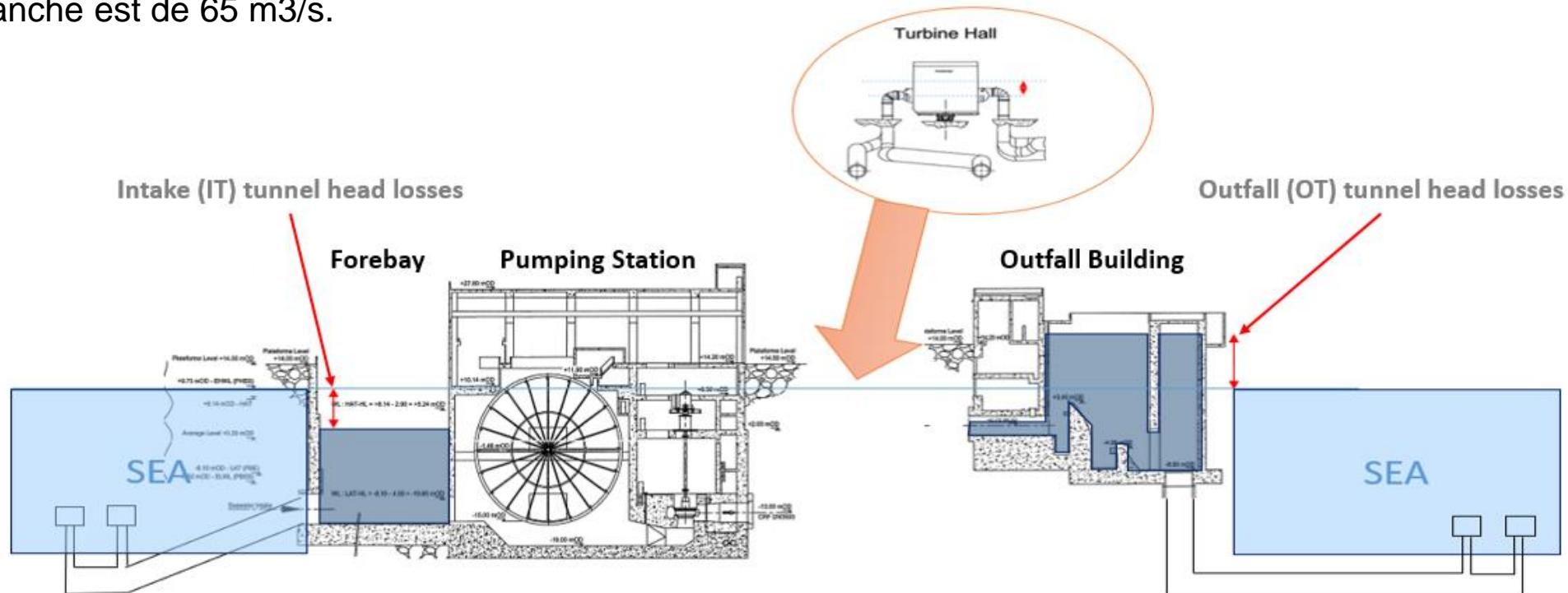
Pose d'un rondeau de liner du bâtiment réacteur à l'aide de Big Carl (plus grosse grue du monde)



2. Présentation de la source froide du projet Hinkley
Point C

2. Présentation de la source froide du projet Hinkley Point C

- La source froide comprend les **circuits de refroidissement de production** et de **sûreté**.
 - Deux types de circuits de refroidissement existent :
 - Les circuits ouverts, généralement en mer ;
 - Les circuits fermés, généralement en rivière avec aéroréfrigérant.
 - La source froide de HPC **est un circuit ouvert avec prise et rejet d'eau en mer**. Le débit circulant dans une tranche est de 65 m³/s.



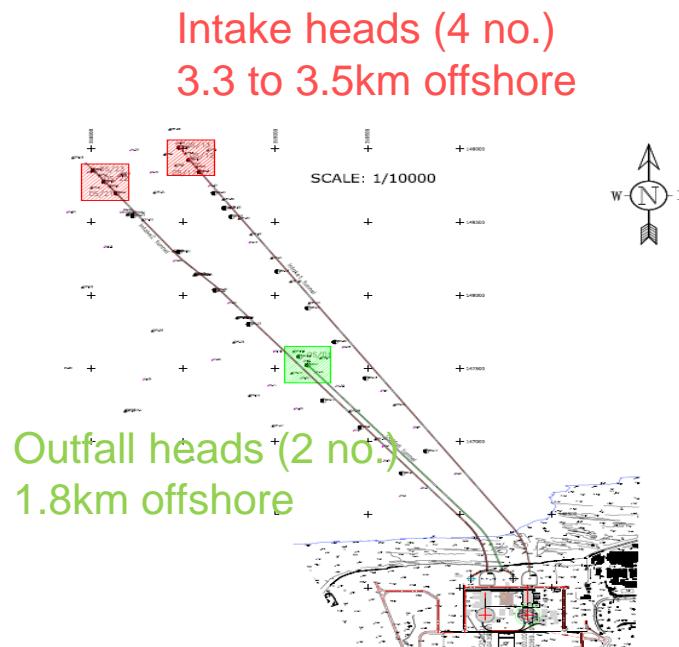


3. Présentation des ouvrages de prise et de rejet
d'eau du projet Hinkley Point C

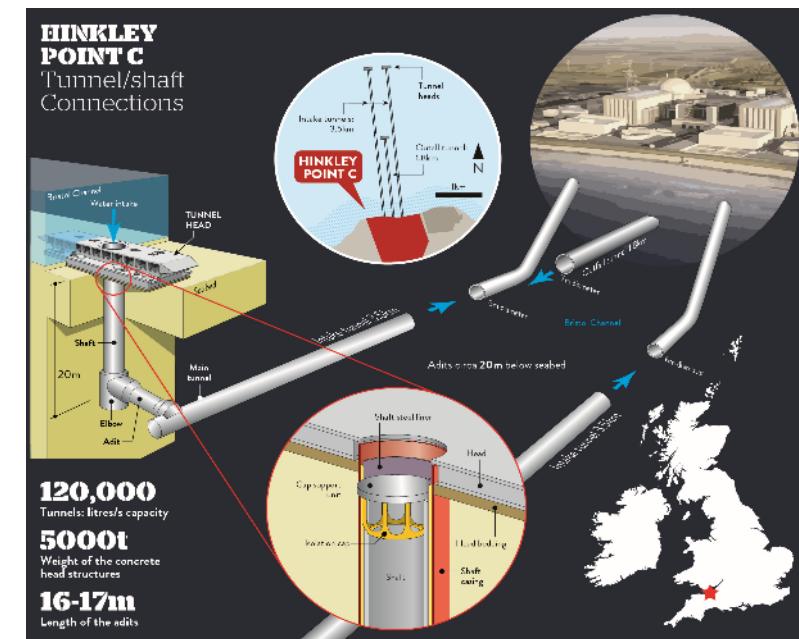
3. Présentation des ouvrages de prise et de rejet d'eau du projet Hinkley Point C

Caractéristiques des ouvrages :

- 2 tunnels d'amenée de longueur 3,45 km environ et de diamètre intérieur 6 mètres et un tunnel de rejet commun de longueur 1840 m et de diamètre intérieur 7 mètres creusés au tunnelier à pression de terre,
- Un ensemble de puits en mer (6 unités - diamètre intérieur 4,2 m) réalisés par la méthode du shaft-drilling depuis des plates-formes en mer. Ces puits permettent de connecter les tunnels aux têtes posées sur le fond de la mer,
- 4 têtes de prise et 2 têtes de rejet préfabriquées à terre puis immergées en position définitive



Vue en plan des tunnels de prise et de rejet d'eau

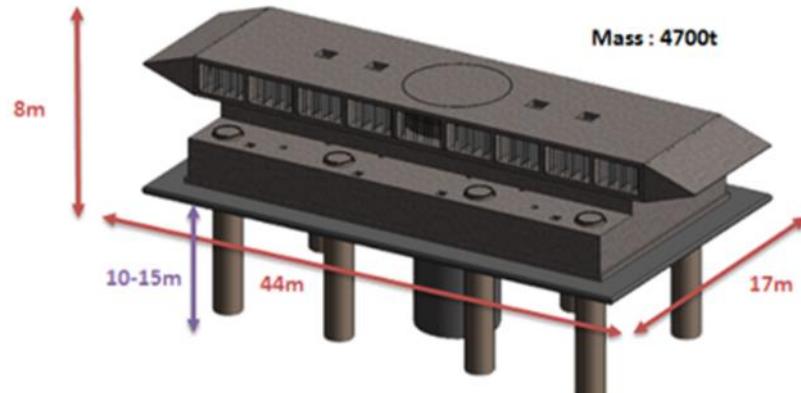


Vue en 3D du système de prise d'eau

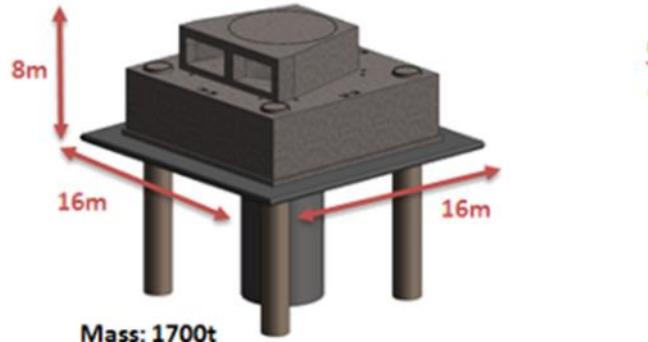
3. Présentation des ouvrages de prise et de rejet d'eau du projet Hinkley Point C

Les ouvrages maritimes :

- Intake heads (4 no.)



- Outfall heads (2 no.)



Caractéristiques des 4 têtes de prise d'eau et des 2 têtes de rejet.



Vue d'une tête de prise d'eau



Aire de préfabrication des têtes

3. Présentation des ouvrages de prise et de rejet d'eau du projet Hinkley Point C

Les ouvrages maritimes :

Les travaux maritimes, notamment de transport sur barges, sont hors normes et ont été réalisés avec des moyens impressionnants.



Transport d'une tête de prise d'eau



Pose d'une tête de prise d'eau

Vidéo du transport des têtes : <https://youtu.be/OQR3Rjo51WU>

3. Présentation des ouvrages de prise et de rejet d'eau du projet Hinkley Point C

Tunnels : Contexte géologique et géotechnique :

Les ouvrages à terre et en mer se situent essentiellement dans un bassin sédimentaire du Lias constitué des faciès suivants :

- Blue Lias : marnes calcaires intercalées avec des bancs fins de calcaires
- Lower Lias présentant un pôle plutôt argileux constitué d'argilites et de marnes d'assez mauvaise qualité mécanique et un pôle un peu plus carbonaté avec une succession de marnes et de marnes calcaires.

L'ensemble est localement surmonté de sédiments quaternaires d'épaisseur pluri-métrique.

L'ensemble des faciès sont caractérisés par une altération importante se traduisant par un contenu important en argile, localement gonflante.

Quelques failles normales importantes ont pu être identifiées lors des reconnaissances offshores influant sur le positionnement des ouvrages de connexion avec le fond marin.

3. Présentation des ouvrages de prise et de rejet d'eau du projet Hinkley Point C

Tunnels :

Les tunnels de prise ont un diamètre fini de 6 m et celui de rejet de 7 m. La couverture moyenne est de l'ordre de 30 m. Le creusement a mobilisé 3 tunneliers à pression de terre (fourniture Herrenknecht) lancés depuis les futures fosses d'alimentation des stations de pompage à terre.

L'ensemble représente environ 500 000 m³ de matériaux excavés et 38 000 voussoirs en béton armé.

Les délais de creusement ont été les suivants :

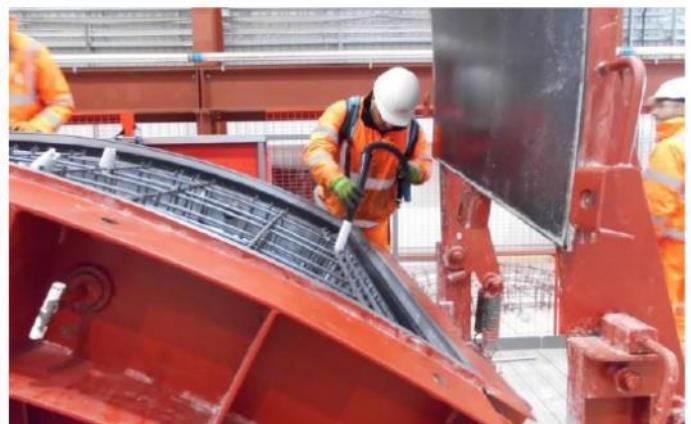
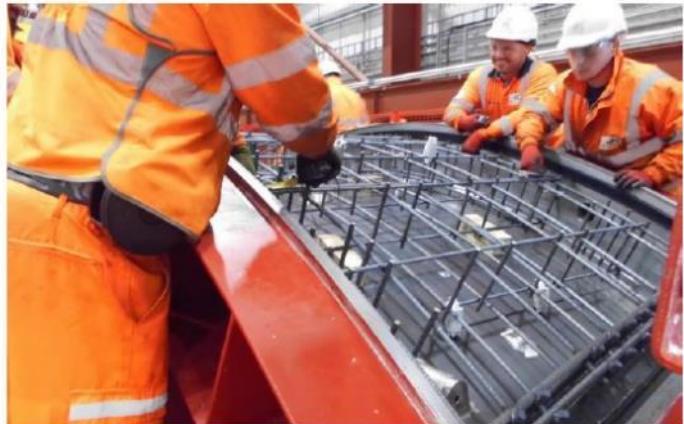
- Tunnelier de prise d'eau n°1 : Lancement en septembre 2019 pour un creusement terminé en décembre 2020 (Moyenne de 14 ml par jour),
- Tunnelier de prise d'eau n° 2 : Lancement pleine vitesse en juin 2021 pour un creusement terminé en octobre 2021 (Moyenne de 18 ml par jour soit presque 30% plus vite que les autres tunneliers),
- Tunnelier de rejet : Lancement pleine vitesse en mars 2021 pour un creusement terminé en juillet 2021.

Tunnels avant finition



3. Présentation des ouvrages de prise et de rejet d'eau du projet Hinkley Point C

Tunnels : Processus de préfabrication des voussoirs



3. Présentation des ouvrages de prise et de rejet d'eau du projet Hinkley Point C

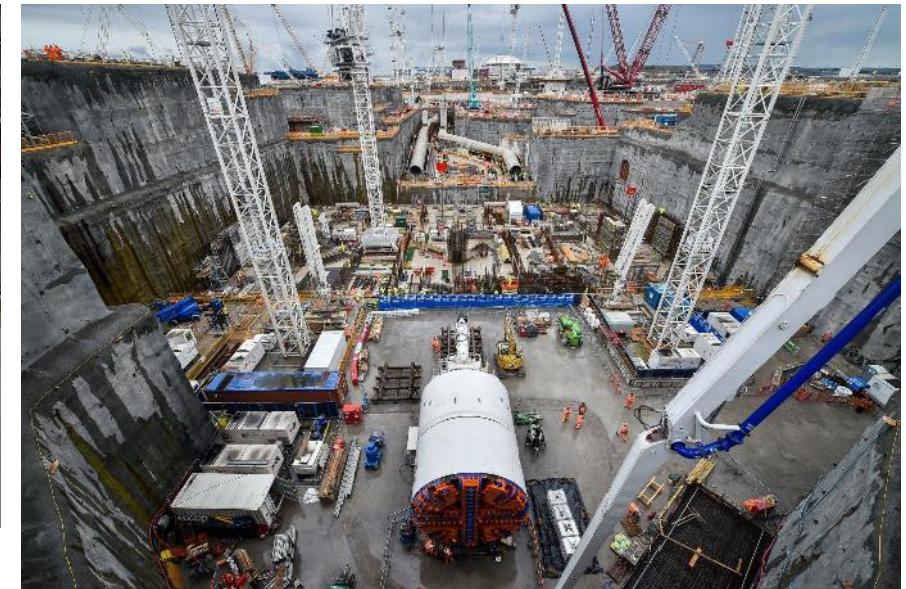
Tunnels : Préparation de la réalisation des tunnels



Tunnelier à pression de terre



*Préfabrication des voussoirs
sur le port d'Avonmouth*



Assemblage du tunnelier dans l'aire de lancement (fouille de la station de pompage)

Vidéo travaux tunnels : <https://youtu.be/BvozwNCpeJI>



4. Les spécificités des tunnels hydrauliques pour les centrales nucléaires

4. Les spécificités des tunnels hydrauliques pour les centrales nucléaires

4.1 Classement de sûreté

Du fait de leur possible contribution à la fonction du refroidissement de l'installation nucléaire dans toutes les situations de fonctionnement, la plupart des ouvrages sont considérés comme des structures classées au sens de la sûreté nucléaire.

Ce classement entraîne un ensemble d'exigences relatives tant à la conception, qu'au contrôle en phase de réalisation ou à la maintenance pendant la durée de vie de l'installation (AFCEN 2010).

Au titre de la sûreté, le dimensionnement structurel des ouvrages intègre de nombreux chargements accidentels. Leurs combinaisons avec les nombreuses conditions de fonctionnement hydrauliques et avec l'importante variabilité des faciès géologiques génèrent souvent plusieurs centaines de situations de calculs pour un seul ouvrage linéaire.

La recherche continue de robustesse passe aussi par le recours à des concepts largement éprouvés par le monde industriel. Ainsi, la conception des ouvrages, qui ne fait pas appel à des méthodes ou technologies récentes ou tout au moins à retour d'expérience limité (telle que le béton fibré pour des structures définitives), peut apparaître comme très classique et assez peu innovante.

4. Les spécificités des tunnels hydrauliques pour les centrales nucléaires

4.2 Pertes de charge

La perte de charge globale des circuits est un des éléments fondamentaux de la conception de la source froide.

En plus de son aspect fonctionnel évident, les pertes de charge sont en effet contractualisées très tôt à l'interface entre les contrats de génie civil et ceux de fourniture des matériels de pompage.

La limitation des pertes de charge permet de garantir la performance hydraulique de l'installation lors de l'exploitation qui a un impact direct sur la rentabilité.

La source froide d'Hinkley point C est exceptionnelle sur plusieurs points :

- Débit élevé (environ 65 m³/s) par tranche,
- Architecture avec tunnel de rejet unique conduisant à des vitesses de circulation élevées,
- Circuits de prise et de rejet particulièrement long au regard des longueurs habituelles pour les centrales en bord de mer,
- Plage de marnage des niveaux marins (plus de 14 m) particulièrement importante.

L'ensemble de ces contraintes conduit à un dimensionnement des pompes particulièrement exigeant et assez proche des limites techniques de ce type de matériel.

La maîtrise des pertes de charge en phase réalisation était donc un requis fonctionnel important de l'opération.

4. Les spécificités des tunnels hydrauliques pour les centrales nucléaires

4.2 Pertes de charge

Les circuits de prise et de rejet sont essentiellement constitués de tunnels revêtus de voussoirs préfabriqués en béton armé.

La rugosité de ce type d'ouvrage est difficile à appréhender. Par exemple, les spécificités des faces internes ou les effets des jonctions entre voussoirs ne sont pas couverts par la littérature.

Dans le cas concret d'Hinkley point C, les faces internes des voussoirs présentent de nombreuses réservations (boulonnage, manutention) dont la participation à la rugosité était méconnue.

L'impact des décalages entre voussoirs (stepping) s'avère difficile à prendre en compte au stade de la conception.



Exemple de décalage entre voussoirs lors de la pose

4. Les spécificités des tunnels hydrauliques pour les centrales nucléaires

4.2 Pertes de charge

Au vu des enjeux et de la difficulté de déterminer des valeurs fiables avec les relations usuelles, deux actions ont été réalisées :

- Élaboration d'un modèle numérique d'écoulement avec une géométrie exacte des anneaux de voussoirs (joints, stepping, empochements)
- Relevé et analyse statistique des décalages réels entre voussoirs à l'achèvement des tunnels.

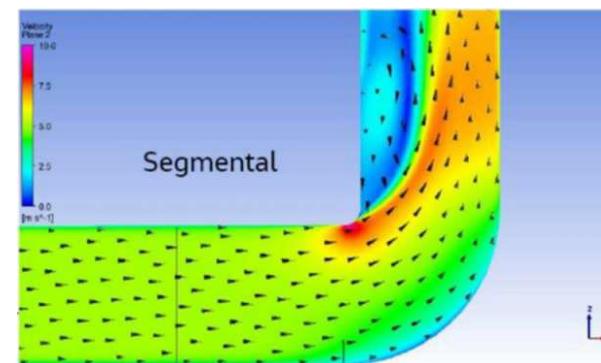
Des pertes de charge par mètre d'ouvrage pour différentes irrégularités géométriques ont été établies.

Associées à l'analyse statistique des relevés, il a été possible d'évaluer la perte de charge finale.

Pour maîtriser la rugosité, il a par ailleurs été décidé de reboucher les plus grosses réservations des voussoirs par du mortier.

L'optimisation de la perte de charge globale du circuit repose aussi sur un design adapté des points singuliers. Les coudes et branchements réalisés en conditions offshore sont souvent très brutaux du fait de la grande difficulté de réaliser de grands volumes d'excavations en méthode traditionnelle.

Des modélisations numériques d'écoulements mettent bien en évidence les contractions de veines fluides ou les survitesses dans les changements de direction.

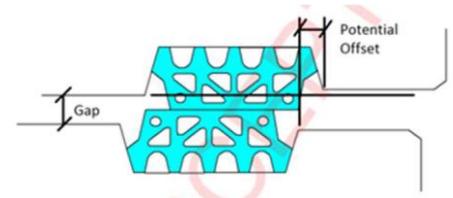


Modélisation CFD des écoulements dans les tunnels

4. Les spécificités des tunnels nucléaires hydrauliques pour les centrales nucléaires

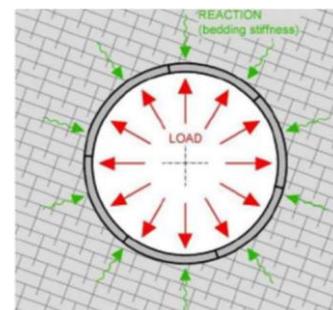
4.3 Etanchéité des joints entre voussoirs à la pression interne

Les revêtements en voussoirs sont classiquement étanchés vis-à-vis des venues d'eau du terrain par des systèmes de joints en élastomères (EPDM) comprimés l'un contre l'autre. Ces joints sont très souvent complétés par des produits hydrogonflants. La compression des joints transversaux (entre anneaux) est assurée par la poussée de la machine lors de la mise en place et celle des joints longitudinaux (au sein de l'anneau) par la charge d'eau externe contre laquelle on cherche à se prémunir.



Vue des joints de compression

Dans le cas d'un tunnel hydraulique dont la charge interne peut dépasser le niveau piézométrique extérieur, les joints longitudinaux vont être soumis à des efforts de traction qui se traduisent par une réduction de la compression pouvant aller jusqu'à un décollement.



Fonctionnement des anneaux en voussoirs sous pression interne

4. Les spécificités des tunnels nucléaires hydrauliques pour les centrales nucléaires

4.3 Etanchéité des joints entre voussoirs à la pression interne

Pour le tunnel de rejet, la différence de pression entre intérieur et extérieur est au maximum de l'ordre de 8 mCE en fonctionnement et d'environ 20 m CE sur les transitoires.

L'évaluation de la déformation de l'anneau sous des combinaisons de chargement comportant la pression interne est donc nécessaire pour évaluer l'étanchéité résiduelle du joint.

Les paramètres décisifs de l'évaluation des déformations des anneaux sous la pression interne sont :

1. La raideur du milieu environnant
2. La contribution du terrain à la compression de l'anneau lié au déconfinement partiel du milieu lors du blocage de l'anneau



5. Focus sur les puits verticaux en mer et leurs connexions

5. Focus sur les puits verticaux en mer et leurs connexions

Les puits en mer verticaux et leurs connexions sont les ouvrages les plus pointus techniquement à réaliser et les plus risqués.

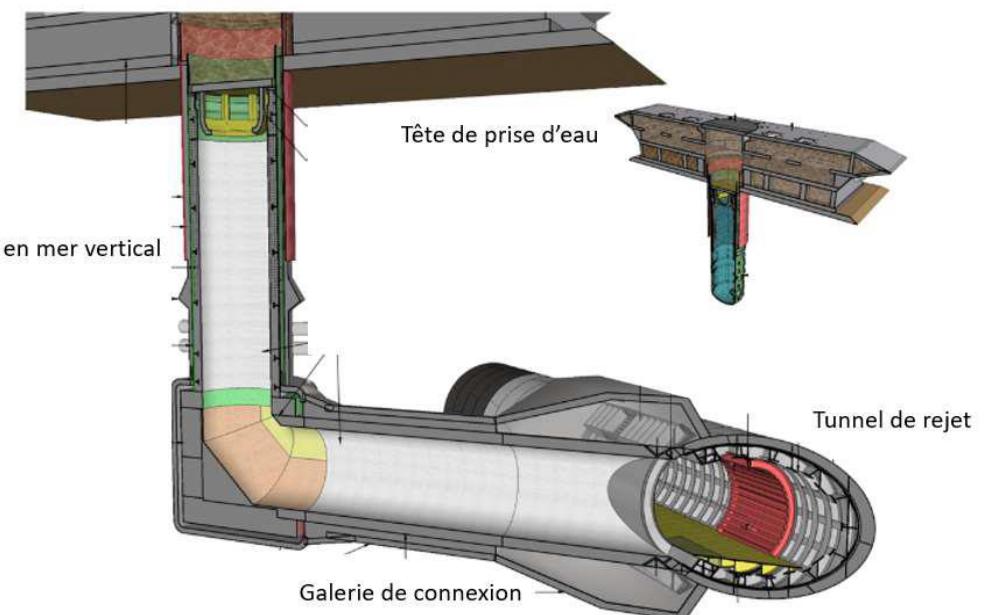
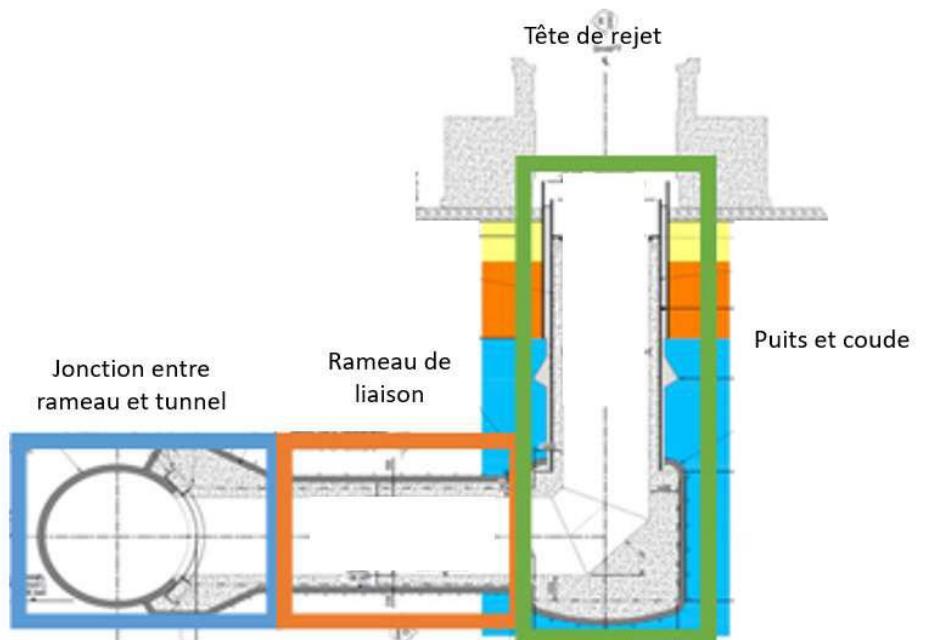
Le design des puits en mer, des connexions entre tunnels et les têtes de prise et de rejet a consisté à :

- Définir un profil hydraulique permettant de limiter les pertes de charges des circuits de prise et de rejet. Cette partie du design réalisée à partir de modèles CFD a abouti à la définition de la géométrie interne du circuit ;
- Etudier le comportement de la structure dans le sol pour un chargement statique et sismique ;
- Définir les requis structurels pour assurer la résistance de l'ouvrage (sections d'acier requises, dimensions des parties béton) ;
- De plus le phasage et les méthodes étant assez complexes, il a été nécessaire d'inclure le phasage de construction dans les calculs.

5. Focus sur les puits verticaux en mer et leurs connexions

L'ouvrage comporte trois parties bien distinctes :

- Le puits et le coude, encadré en vert ;
- Le rameau de liaison, encadré en orange ;
- La jonction entre le rameau et le tunnel, encadré en bleu.



Connexion en mer – détail des structures

5. Focus sur les puits verticaux en mer et leurs connexions

Les travaux des puits en mer et leur connexions sur les tunnels ne sont pas commencés.

Une vidéo de leur principe de réalisation a été créée : [Vidéo montrant le phasage des travaux.](#)



6. Conclusion

6. Conclusion

Le système de refroidissement des deux réacteurs de type EPR en construction sur le site d'Hinkley Point C (Royaume-Uni) est une première pour EDF.

Les tunnels notamment de prise d'eau sont très longs et classés de sûreté. L'ensemble, têtes, puits en mer et tunnels nécessitent des méthodes de construction et des moyens maritimes pointus et impressionnants.

L'hydraulique de ces tunnels doit être bien appréhendée en amont car elle est la garantie d'un fonctionnement optimum des installations.

Le retour d'expérience est en cours sur les études et travaux de ces ouvrages hors normes. Celui-ci alimentera les futurs projets d'EPR ou d'EPR2 en France et à l'export qui nécessiteront certainement d'être réalisés avec des contextes géotechniques ou maritimes très différents.

Merci.
Des questions ?

