

Fontenay-aux-Roses, le 17 juillet 2019

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2019-00169

Objet : CEA/Cadarache
Réacteur Jules Horowitz (INB n° 172)
Dimensionnement et fiabilité du pont polaire

Réf. [1] Lettre ASN CODEP-DRC-2018-025318 du 4 juin 2018
[2] Décision ASN n° 2011-DC-0226 du 27 mai 2011
[3] Décision ASN n° 2015-DC-0477 du 8 janvier 2015

Par lettre citée en référence [1], l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis et les observations de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur les éléments relatifs au pont polaire de l'installation transmis par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) en anticipation de la demande de mise en service du réacteur Jules Horowitz (RJH) actuellement en cours de construction sur le site de Cadarache.

1. Contexte

Dans le rapport préliminaire de sûreté (RPrS) transmis en 2006 à l'appui de la demande d'autorisation de création du RJH, seule une description succincte du pont polaire était présentée par le CEA. La conception de cet équipement, situé dans le hall du bâtiment réacteur (BUR), n'avait donc pas fait l'objet d'un examen dans le cadre de l'expertise menée de ce rapport. En décembre 2014, le pont polaire a été mis en service pour la phase chantier du RJH. Il sera également utilisé pour l'exploitation du réacteur, la réalisation de programmes expérimentaux, ainsi que pour les opérations de maintenance et de démantèlement de l'installation.

Le pont polaire, élément important pour la protection (EIP), est constitué d'un quadrilatère tournant, d'un pont roulant animé d'un mouvement de translation et d'un chariot assurant le levage des charges (cf. Figure 1 en annexe 3 au présent avis). Une voie de roulement permet le déplacement du quadrilatère du pont polaire. Celle-ci repose sur des consoles auxquelles elle est assemblée. Les consoles sont fixées à des platines ancrées dans les structures de génie civil de l'enceinte.

Adresse Courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France

Siège social
31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
Standard +33 (0)1 58 35 88 88
RCS Nanterre 8 440 546 018

En phase d'exploitation du RJH, la manutention des charges situées dans le hall du BUR sera réalisée à partir d'une chaîne cinématique de levage dite « lourde ». La manutention des éléments combustibles situés dans le BUR ou la manutention des charges survolant les piscines du BUR seront quant à elles réalisées par une chaîne cinématique de levage dite « légère ». Ces deux chaînes cinématiques de levage sont notamment constituées chacune de deux câbles redondants (chaque câble peut supporter la charge nominale), d'un frein de service à manque de tension, d'un frein de secours à manque de tension et d'un frein de sécurité indépendant à pince hydraulique. Un seul frein suffit pour bloquer la charge manutentionnée.

En cas d'indisponibilité importante du levage, un affalage manuel de la charge accrochée peut être réalisé. Cette opération est exceptionnelle et consiste à ouvrir le frein de sécurité à l'aide d'une pompe manuelle raccordée à la centrale hydraulique de pilotage des freins. Elle nécessite auparavant d'avoir ouvert manuellement les freins de service et de secours.

De l'analyse du dossier transmis par le CEA, complété par les éléments recueillis au cours de l'expertise, l'IRSN retient les principaux points développés ci-après.

2. Exigences de sûreté retenues par le CEA pour le pont polaire

Ces exigences sont les suivantes :

- absence d'agression d'un élément combustible, d'un dispositif expérimental, du cuvelage des piscines, de circuits participant à l'évacuation de la puissance résiduelle, de tout autre EIP et des structures de génie civil ;
- absence de génération de corps migrants dans le cœur et les piscines ;
- maintien sous eau des éléments combustibles et des dispositifs expérimentaux et maintien d'une hauteur d'eau minimale au-dessus des sources irradiantes lors des manutentions.

Elles n'appellent pas de remarque.

3. Dimensionnement du pont polaire et comportement aux agressions

Concernant le dimensionnement du pont polaire, pour étudier de nombreuses situations dont le séisme de dimensionnement (SDD), le CEA a établi un modèle d'ensemble par éléments finis du quadrilatère, du pont roulant, du chariot et de la voie de roulement. À partir des résultats obtenus sur ce modèle, le CEA a notamment vérifié que les valeurs de contraintes dans les structures (charpentes et mécanismes) sont inférieures à la limite élastique des matériaux en tenant compte d'un coefficient de sécurité, conformément aux règles de la Fédération Européenne de la manutention (FEM). Le CEA a également complété son analyse à l'aide de modèles locaux. Par ailleurs, des vérifications complémentaires visant à démontrer le maintien en place, en cas de SDD, de différents matériels situés sur ou à proximité du pont polaire (armoires électriques, passerelles...) ont été effectuées. **Ces éléments n'appellent pas de remarque particulière.** L'IRSN souligne que le CEA a vérifié la résistance de tous les éléments du pont polaire et de la voie de roulement pour vingt configurations, obtenues en faisant varier les positions relatives du quadrilatère, du pont roulant et du chariot sur la voie de roulement afin de maximiser les efforts et les contraintes, **ce qui est satisfaisant.** Par ailleurs, l'IRSN note que certaines vérifications font apparaître des marges très faibles par rapport aux critères retenus mais souligne que les analyses ont été effectuées pour des sollicitations enveloppes, notamment pour ce qui concerne la charge d'exploitation de la chaîne cinématique de levage « lourde ». Toutefois, pour ce qui concerne le cas du SDD, l'IRSN constate que l'amortissement¹ pris en compte pour

¹ L'amortissement caractérise, pour un oscillateur, le nombre de pseudo-périodes nécessaires pour le retour à sa position d'équilibre, après en avoir été écarté. Il s'exprime en pourcentage de l'amortissement critique, qui correspond à

les études effectuées par le CEA est égal à 7 %. Pour l'IRSN, la valeur de 7 % correspond à des structures en acier boulonnées sans précontrainte. Le pont polaire étant constitué d'éléments soudés assemblés par des boulons précontraints, l'amortissement devrait plutôt être pris égal à 4 %, ce qui est confirmé par le RCC-MX². **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 1 formulée en annexe 1 du présent avis.**

S'agissant des conditions d'ambiance normales dans le hall réacteur (températures et irradiations), l'IRSN considère qu'elles n'auront pas de conséquence sur les structures et les composants mécaniques et électriques du pont polaire, **ce qui permet de répondre de manière satisfaisante à la prescription technique [INB 172-18] de l'ASN, formulée dans la décision citée en référence [2] et rappelée en annexe 4.**

Concernant le comportement du pont aux agressions (hors séisme), les différentes solutions électriques mises en place pour répondre aux exigences en matière de compatibilité électromagnétique (CEM) du pont polaire **n'appellent pas de remarque**. En revanche, aucun calcul de comportement du pont polaire en cas de feu ni aucune disposition de prévention ou de protection en cas de départ de feu sur le pont polaire n'est présenté malgré la présence d'armoires électriques sur le quadrilatère du pont polaire. Il n'est donc pas démontré que les exigences de sûreté du pont polaire sont assurées en cas d'incendie. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 2 formulée en annexe 1 du présent avis.**

Enfin, pour ce qui concerne la chute d'avion, le CEA a indiqué en cours d'expertise l'avoir exclue, sur la base d'une analyse probabiliste, dans le dimensionnement du pont, en se basant sur la règle fondamentale de sûreté (RFS) n° I.2.a. L'IRSN constate cependant que la probabilité annuelle de chute d'un appareil de l'aviation générale sur le BUR, déterminée par le CEA, est supérieure à 10^{-7} /an. En tout état de cause, le CEA a dimensionné le BUR à la chute d'un appareil de l'aviation générale et a retenu, dans le RPrS, comme exigence relative à l'enceinte du BUR, la protection des éléments importants pour la protection (EIP) en cas de chute d'avion. A ce titre, l'ébranlement lié à la chute d'un appareil de l'aviation générale doit être pris en compte dans le dimensionnement du pont polaire. Etant donné que les spectres d'ébranlement liés à la chute d'avion sont supérieurs dans la direction horizontale aux spectres sismiques transférés au niveau du pont (associés à un coefficient d'amortissement de 7 % ou 4 %) lorsque ce dernier est en fonctionnement (hors position de garage), les conséquences d'une chute d'avion sur le pont polaire doivent être évaluées. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 3 formulée en annexe 1 du présent avis.**

4. Contrôles et essais du pont polaire

Les soudures réalisées pour la fabrication du quadrilatère, du pont roulant, du chariot et de la voie de roulement ont fait l'objet de contrôles (complets ou partiels) par ultrasons ou par magnétoscopie. Les soudures des consoles supportant la voie de roulement ont été contrôlées par magnétoscopie sur 100% de leur longueur. Des contrôles dimensionnels en fin de fabrication de tous les éléments relatifs au pont polaire ont également été réalisés. Les contrôles réalisés sur les soudures, qui respectent les préconisations de la norme NF E 52-109-2 de décembre 1990 relative aux assemblages soudés des engins de manutention pour des soudures de qualité spéciale, **n'appellent pas de remarque**.

Par ailleurs, avant la mise en service du pont polaire, des essais ont été réalisés en usine et sur le site du RJH afin de vérifier le bon fonctionnement en conditions normales de tous les sous-ensembles du pont polaire, le bon fonctionnement d'ensemble du pont et l'absence d'interaction de ce dernier avec son environnement. Depuis la

¹ l'amortissement strictement suffisant à un oscillateur déporté pour qu'il revienne à sa position d'équilibre sans effectuer d'oscillation.

² Le code RCC-MX constitue le recueil des règles de conception et de construction des matériels mécaniques des réacteurs expérimentaux, de leurs auxiliaires et des dispositifs d'irradiation. Il a été élaboré en particulier pour servir à la conception et à la réalisation des matériels mécaniques du futur réacteur RJH.

mise en service du pont polaire, des essais périodiques de fonctionnement sont réalisés *a minima* tous les ans notamment sur les freins ou les dispositifs destinés à arrêter ou à maintenir la charge. En outre, une vérification annuelle de l'état de conservation du pont est effectuée, dont l'objectif est de détecter toute détérioration, notamment sur les poulies de mouflage, les tambours, les câbles, les palonniers, les moufles³ et les crochets (composants critiques des chaînes cinématiques de levage). Les différents essais réalisés en usine, sur le site du RJH ainsi que les essais en service et leur périodicité sont conformes aux vérifications requises par l'arrêté du 1^{er} mars 2004 relatif à la vérification des appareils et accessoires de levage. **Ces éléments sont satisfaisants.**

5. Robustesse du pont polaire en cas de séisme noyau dur

La démarche suivie par le CEA pour évaluer la robustesse du pont polaire en cas de séisme noyau dur (SND) comprend deux étapes. La première consiste à reprendre la vérification du dimensionnement du pont et de la voie de roulement pour le SND à l'identique de ce qui a été effectué pour le SDD (notamment un coefficient d'amortissement de 7 % est retenu pour les spectres sismiques appliqués), mais en prenant en compte les masses réelles des éléments du pont polaire et des charges manutentionnées en phase d'exploitation et non des masses enveloppes de ces derniers comme dans le cas du dimensionnement. En effet, étant donné que le pont polaire n'est pas un équipement constitutif du « noyau dur » de l'installation, le CEA retient pour évaluer la robustesse de ce dernier des hypothèses dites « réalistes ». De plus, les exigences de sûreté assignées au pont polaire sont adaptées à l'objectif d'évaluation de sa robustesse, qui correspond à l'absence d'agression par celui-ci des systèmes, structures et composants (SSC) du « noyau dur » en cas de SND. Ceci se traduit par les exigences suivantes :

- absence de délogement du pont du chemin de roulement ;
- absence de chute d'un composant lourd du pont ;
- absence de chute de la charge manutentionnée en situation d'exploitation.

Pour les éléments qui ne respectent pas les critères des règles de la FEM à l'issue de la première étape, la seconde étape consiste à effectuer une analyse complémentaire adaptée au composant étudié afin de démontrer le respect des exigences précitées. **La démarche retenue, les résultats obtenus et les justifications apportées par le CEA n'appellent pas de remarque particulière.** Toutefois, l'IRSN estime que la valeur de 7% d'amortissement prise en compte n'est pas acceptable compte tenu du fait que le RCC-MX préconise une valeur de 4 % pour ce type de pont et que des hypothèses réalistes sont déjà retenues par le CEA par ailleurs (masses réelles et exigences adaptées). Pour l'IRSN, retenir un amortissement de 7 % ne permet pas de satisfaire à la PT [CEA-INB172-ND05] formulée dans la décision citée en référence [3] et rappelée en annexe 4 du présent avis. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 4 formulée en annexe 1 du présent avis.**

6. Dimensionnement et robustesse des platines d'ancrages

Le référentiel appliqué pour le dimensionnement des platines d'ancrage est le RCC-G-RJH⁴ et le Bulletin 233 du comité européen du béton (CEB) intitulé *Design of fastenings in concrete*. De cette analyse, le CEA conclut que les contraintes calculées pour l'ensemble des composants constitutifs des platines d'ancrage sont toutes inférieures au critère admissible de limite élastique retenu. L'évaluation de la robustesse des platines d'ancrage au séisme SND est réalisée suivant les mêmes critères qu'en dimensionnement. Le CEA conclut que la rupture des platines est exclue et que les ancrages sont suffisamment robustes. **Le choix des critères et du référentiel retenus par le CEA pour les platines d'ancrage à l'égard des chargements du dimensionnement dont le SDD et à l'égard de l'évaluation de la robustesse du pont polaire en cas de SND n'appelle pas de remarque. Le respect des critères n'appelle pas**

³ Un moufle permet le levage d'une charge par plusieurs brins de câble.

⁴ Code relatif aux règles de conception et de construction des structures de génie civil.

non plus de remarque. Toutefois, l'analyse du CEA, réalisée en retenant une valeur d'amortissement égale à 7 %, conclut à des valeurs minimales de marges par rapport aux critères retenus en cas de SND de l'ordre de 13%. L'IRSN estime que la prise en compte d'une valeur d'amortissement égale à 4 % est susceptible de mettre en cause le respect des critères retenus. **Ce point fait l'objet de l'observation n° 1 formulée en annexe 2 du présent avis.**

7. Fiabilité des chaînes cinématiques de levage

La fréquence annuelle de chute de charge des deux chaînes cinématiques de levage a été déterminée par le CEA en phase de levage (hors phase d'approche basse⁵), d'affalage manuel et d'approche basse. L'objectif de fiabilité des chaînes cinématiques de levage, exprimé en fréquence de chute de charge, est de 10^{-7} /an.

Concernant la phase de levage, une analyse préliminaire de risques a été réalisée par le CEA en amont de l'analyse de fiabilité. Elle a permis d'identifier les principaux scénarios pouvant provoquer l'événement redouté, à savoir la chute de charge. Ces scénarios ont ensuite été étudiés à l'aide d'arbres de défaillance. Le CEA conclut que les fréquences annuelles de chute de charge induites par une défaillance des chaînes cinématiques de levage « lourde » et « légère » sont respectivement de $4,2 \cdot 10^{-8}$ /an et $3,9 \cdot 10^{-8}$ /an et qu'il n'y a pas d'élément prépondérant dans la fréquence annuelle de chute de charge. En outre, en supposant qu'un affalage d'une durée d'une heure se produira annuellement, le CEA conclut que la fréquence annuelle de chute de charge en phase d'affalage manuel pour les deux chaînes cinématiques de levage est de $1,9 \cdot 10^{-8}$ /an.

L'IRSN considère que l'étude de fiabilité en phase de levage, réalisée par le CEA, est de qualité. Toutefois, compte tenu de l'absence à ce jour de consignes de conduite et de maintenance du pont polaire, il conviendrait que le CEA complète son analyse de fiabilité du pont polaire en intégrant dans les arbres de défaillance la thématique « facteur humain ». **Ce point fait l'objet de l'observation n° 2 formulée en annexe 2 du présent avis.**

Concernant la phase d'approche basse, le CEA a indiqué en cours d'expertise avoir retenu, dans l'analyse de fiabilité du pont polaire, une hauteur d'approche basse de 20 cm (en cas de perte du couple du moteur de levage ou de ses alimentations électriques) et a précisé que les manutentions sont effectuées, en eau ou en air, à des hauteurs les plus basses possibles, comprises entre 20 et 50 cm par rapport au sol. Le CEA a également précisé que la hauteur de 20 cm correspond à une optimisation entre les capacités du fabricant et les besoins d'exploitation de l'installation. Il a également précisé qu'un arrêt de type ARV3 (arrêt vertical) se produit sur le pont polaire en cas de perte des alimentations électriques ou en cas de rupture de câble. Des essais relatifs à ce type d'arrêt, pour des charges manutentionnées correspondant à la CMU des lignes de levage, concluent à une distance d'arrêt inférieure à 20 cm.

L'IRSN relève que les essais d'arrêt de type ARV3 cités par le CEA entraînent simultanément l'ouverture du contacteur général du pont et la commande du freinage mécanique de service et de secours. Or, en cas de perte d'alimentation électrique dans l'installation, le contacteur général du pont serait ouvert, puis les freins seraient actionnés par le contrôle-commande du pont sur ordre d'un manque de tension. Aussi, l'IRSN considère que l'essai d'arrêt de type ARV3 ne permet pas de prendre en compte le temps de réaction du contrôle-commande. Ces essais ne sont par conséquent pas représentatifs d'une chute de charge engendrée par une perte d'alimentation électrique. Pour l'IRSN, la hauteur d'approche basse de 20 cm n'est donc pas justifiée. Compte tenu des temps de freinage indiqués dans les éléments transmis par le CEA, l'IRSN considère que la hauteur d'approche basse pourrait être supérieure à 20 cm. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 5 formulée en annexe 1 du présent avis.**

⁵ En phase d'approche basse, la charge manutentionnée est située à une hauteur à laquelle les freins du pont polaire ne peuvent pas intervenir suffisamment rapidement pour arrêter le mouvement de la ligne de levage en cas de défaillance de celle-ci.

Par ailleurs, le CEA estime que la probabilité annuelle de chute de charge en phase d'approche basse est de $1,07 \cdot 10^{-7}$ /an pour les charges manutentionnées par le pont polaire en considérant qu'une perte d'alimentation électrique survient une fois par an. Cependant, l'IRSN considère que les probabilités de chute de charge évaluées par le CEA ne sont pas annuelles mais horaires. Aussi, la probabilité annuelle de chute de charge en phase d'approche basse serait d'environ $9,4 \cdot 10^{-4}$ /an pour les charges manutentionnées par le pont polaire. Cette probabilité est supérieure à l'objectif de 10^{-7} /an. Pour l'IRSN, démontrer que le pont polaire respecte l'objectif de fiabilité défini, y compris pour la phase d'approche basse apparaît difficilement atteignable compte tenu des multiples manutentions à réaliser pour les futurs besoins d'exploitation de l'installation. À cet égard, lors de l'expertise du RPrS, le CEA visait une exclusion par une étude probabiliste des chutes de charges dites lourdes (charges supérieures à 500 kg) sur le cœur du réacteur ou sur les entreposages d'éléments combustibles irradiés du BUR. Ces dernières ne pourront donc pas être écartées compte tenu de la fiabilité du pont polaire en phase d'approche basse. Par ailleurs, la chute de charge d'un dispositif expérimental dans la piscine réacteur et les chutes de charge, inférieure à 500 kg, sur le cœur ou sur un entreposage d'éléments combustibles irradiés situé en piscine réacteur sont prises en compte dans le dimensionnement de l'installation. La fiabilité du pont polaire en phase d'approche basse est toutefois susceptible de mettre en cause le classement retenu pour ces scénarios. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 6 formulée en annexe 1 du présent avis.**

8. Conclusion

L'IRSN estime que le dossier transmis par le CEA, complété par les éléments recueillis au cours de l'expertise, relatifs au pont polaire de l'installation, est globalement satisfaisant. Toutefois, l'expertise de l'IRSN conduit à formuler, en annexe 1 au présent avis, des recommandations portant sur le comportement et la robustesse du pont polaire en cas de séisme, sur le comportement du pont en cas d'incendie ou de chute d'avion et sur la fiabilité du pont en phase d'approche basse.

En complément, l'IRSN estime que le CEA devrait prendre en compte les observations formulées en annexe 2 au présent avis afin de conforter la démonstration de sûreté du RJH qui sera présentée dans le dossier de demande d'autorisation de mise en service de l'installation.

Pour le Directeur général et par délégation,

Olivier DUBOIS

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Annexe 1 à l'avis IRSN/2019-00169 du 17 juillet 2019

Recommandations

Recommandation n° 1 :

L'IRSN recommande que le CEA justifie le dimensionnement du pont polaire au séisme de dimensionnement (SDD) en prenant en compte des spectres transférés au niveau du pont polaire établis pour un amortissement égal à 4 %.

Recommandation n° 2 :

L'IRSN recommande que le CEA prenne en compte, dans son étude incendie, un départ de feu sur le pont polaire et justifie que les exigences de sûreté définies pour ce dernier restent assurées.

Recommandation n° 3 :

L'IRSN recommande que le CEA justifie que les exigences de sûreté retenues pour le pont polaire sont assurées après la chute d'un appareil de l'aviation générale sur le bâtiment réacteur, en évaluant en particulier les conséquences de l'ébranlement du bâtiment sur le comportement du pont.

Recommandation n° 4 :

L'IRSN recommande que le CEA évalue la robustesse du pont polaire en cas de séisme « noyau dur » en considérant des spectres transférés au niveau du pont polaire établis avec un amortissement égal à 4 %.

Recommandation n° 5 :

L'IRSN recommande que le CEA justifie par calcul la hauteur d'approche basse retenue dans l'analyse de fiabilité du pont polaire et s'assure que cette hauteur ne met pas en cause le dimensionnement des structures de génie civil. Pour déterminer la hauteur d'approche basse, plusieurs calculs sont à réaliser en raison de la position présumée de la défaillance (par exemple en aval ou en amont du réducteur).

Recommandation n° 6 :

L'IRSN recommande que le CEA étudie, dans son référentiel de dimensionnement, les conséquences des chutes des charges survolant les piscines du bâtiment réacteur à une hauteur égale à la hauteur d'approche basse calculée (cf. recommandation n° 5) en justifiant le classement retenu pour les scénarios considérés.

Annexe 2 à l'avis IRSN/2019-00169 du 17 juillet 2019

Observations

Observation n° 1 :

L'IRSN considère que le CEA devrait justifier la robustesse des platines d'ancrage au séisme « noyau dur » en tenant compte des spectres transférés au niveau du pont polaire établis pour un amortissement égal à 4 %.

Observation n° 2 :

L'IRSN considère que le CEA devrait compléter son analyse de fiabilité du pont polaire en intégrant, dans les arbres de défaillance, la séquence de chute de charge lors du pilotage du pont dans l'environnement de la passerelle RMT. L'exhaustivité des séquences de chute potentielle avec composante « erreur humaine » devrait être justifiée à l'issue de la rédaction de l'ensemble des consignes de conduite et de maintenance du pont polaire.

Annexe 3 à l'avis IRSN/2019-00169 du 17 juillet 2019
Description du pont polaire de l'installation

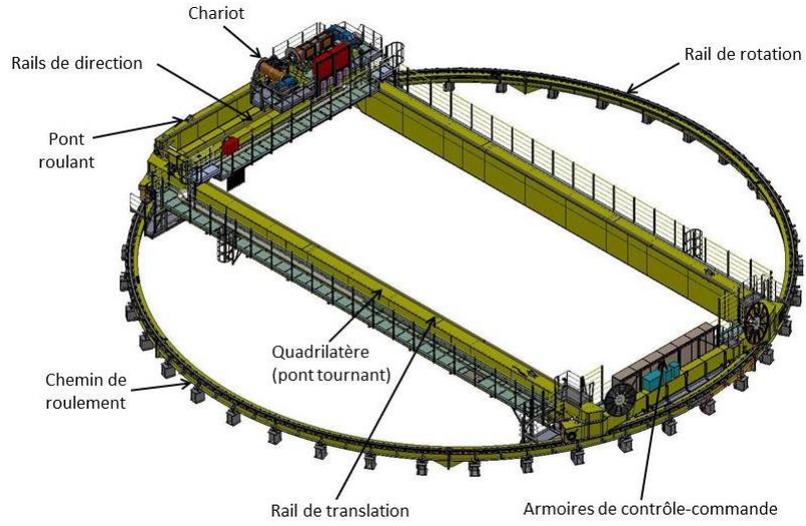


Figure 1 : Schéma du pont polaire et de la voie de roulement

Annexe 4 à l'avis IRSN/2019-00169 du 17 juillet 2019
Rappel des prescriptions techniques de l'ASN

PT [INB 172-18] :

« Outre les effets des situations accidentelles pour lesquelles ils sont requis, la qualification des matériels actifs (vannes, pompes) des éléments importants pour la sûreté prend en compte les effets des conditions d'ambiance subies par ces matériels en fonctionnement normal avant l'occurrence desdites situations ».

PT [CEA-INB172-ND05] :

« Pour les vérifications du comportement des équipements agresseurs du noyau dur, l'exploitant retient des critères adaptés permettant de ne pas porter atteinte aux exigences fonctionnelles requises pour les SSC du noyau dur ».