



Piscine d'Entreposage Centralisé

Accessibilité :

Restreinte

Nombre de Pages : 38

Nombre d'Annexes : 0

Titre du document :

Justification des choix de conception de l'installation

Référence Projet

PEC	-	DP2DPP	-	XX	-	WPC	-	REP	-	0000135
------------	---	---------------	---	-----------	---	------------	---	------------	---	----------------

Projet

Entité émettrice

Zone

SSC

Type de Doc

Numéro Document

A	24/10/2017	FIN					Création du document
REV.	DATE DE VALIDATION	ETAT DE VALIDITÉ	AUTEUR	VERIFICATEUR	APPROBATEUR		MODIFICATIONS / OBSERVATIONS

Code Projet : PEC	Numéro Contrat :	AIP: Non	PIDU: -	© 2017
Type de Document (Code / Désignation): REP – Technical report	PBS / Système / Bâtiment WPC Code complet :			
PBS / Système / Bâtiment : (Code / Désignation): WPC - Piscine Entreposage Centralise	Localisation Géographique :			
DP2D Plateau Projet	DP2DPP	0000135		
Nom de l'Entité émettrice	Code Entité émettrice	Numéro du document		

Ce document contient des informations sensibles relevant du secret et juridiquement protégées. Il est réservé à l'usage exclusif des personnes désignées comme destinataires du document et/ou autorisées à y accéder. Il est illégal de photocopier, distribuer, divulguer, ou d'utiliser de toute autre manière les informations contenues dans ce document sans accord du service émetteur. Copyright EDF SA – 2017. Ce document est la propriété d'EDF SA

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

REVISIONS

REV	MODIFICATIONS
A	Création du Document

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

RESUME

L'objet de ce document est de présenter les éléments de justification des principaux choix technologiques réalisés sur l'installation en phase esquisse ainsi que certaines orientations de sûreté impactant l'architecture d'ensemble de la piscine d'entreposage centralisé.

MOTS CLEFS

DOS ; choix technologiques

ABREVIATIONS

APEC Atelier Pour l'Entreposage du Combustible
APS Avant-Projet Sommaire
ASN Autorité de sûreté nucléaire
BK Bâtiment Combustible
CNPE Centre Nucléaire de Production d'Electricité
DBC Design Basis Conditions
DEC Design Extended Conditions
DOS Dossier d'Options de Sûreté
REB Réacteur à eau bouillante
REP Réacteur à eau pressurisée
RNR Réacteur à Neutrons Rapides

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

TABLE DES MATIERES

1	REFERENCES	7
2	INTRODUCTION	8
3	ANALYSE D'INSTALLATIONS EXISTANTES	9
3.1	CLAB - PISCINE CENTRALISEE D'ENTREPOSAGE DES COMBUSTIBLES USES (SKB - SUEDE)	9
3.2	PISCINES D'ENTREPOSAGE DE COMBUSTIBLES USES DE LA HAGUE (AREVA – FRANCE)	10
3.3	GOESGEN - INSTALLATION D'ENTREPOSAGE DE COMBUSTIBLES USES DE LA CENTRALE NUCLEAIRE DE GOESGEN (KKG - SUISSE)	12
3.4	L'ATELIER POUR L'ENTREPOSAGE DU COMBUSTIBLE, APEC (EDF – FRANCE)	13
3.5	ECHANGES A L'AIEA	13
3.6	CONCLUSIONS	13
4	CHOIX TECHNOLOGIQUES – UNITE DE DECHARGEMENT – CHOIX DU MODE DE DECHARGEMENT DES EMBALLAGES	15
4.1	PRESENTATION DU SUJET	15
4.2	PRESENTATION DES OPTIONS ENVISAGEES	15
4.3	SOLUTION RETENUE	16
5	CHOIX TECHNOLOGIQUES – UNITE D'ENTREPOSAGE	17
5.1	MAITRISE DE LA CRITICITE EN ENTREPOSAGE	17
5.2	MANUTENTION ET GESTION DE LA STABILITE DE L'ENTREPOSAGE DES COMBUSTIBLES	18
5.3	CAPACITE D'ENTREPOSAGE ET NOMBRE DE BASSINS	19
5.4	NON COMPARTIMENTAGE DU BASSIN	20
5.5	AUTONOMIE DE L'INSTALLATION	21
6	CHOIX TECHNOLOGIQUES – UNITE DE MAINTIEN DES AC EN CONDITIONS D'ENTREPOSAGE - SYSTEME DE REFROIDISSEMENT DE L'EAU	24
6.1	PRESENTATION DU SUJET	24
6.2	JUSTIFICATION DES ORIENTATIONS DE CONCEPTION	24
7	THEMATIQUES TRANSVERSES	26
7.1	STRUCTURES DE GENIE CIVIL	26
7.2	COHERENCE DES « CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT » AVEC LA DEFENSE EN PROFONDEUR	29
7.3	ELIMINATION PRATIQUE ET PREVENTION DES ACCIDENTS DE CRITICITE	31

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

7.4	DUREE DE VIE DE L'INSTALLATION ET PRISE EN COMPTE A LA CONCEPTION.....	33
7.5	PRISE EN COMPTE DU DEMANTELEMENT A LA CONCEPTION	35

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : caractéristique des piscines d'entreposage de La Hague 10

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : schémas de principe des modes de déchargement des emballages 15

Figure 2 : Conception supportage mixte – Esquisse 2016 26

Figure 3 : Conception appuis – Esquisse 2016 – Voiles supports 27

Figure 4 : Conception appuis - Esquisse 2016 - Poteaux supports..... 27

Figure 5 : Vue 3D de la maquette – Coque avion 28

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

1 REFERENCES

- [1] Note EDF DP2D – D455517004995 ind. A
« Piscine d'Entreposage Centralisé – Dossier d'Options de Sûreté »
- [2] Courrier ASN – CODEPDRC2017022893
« Dossier d'Options de Sûreté pour la Piscine d'Entreposage Centralisé »
- [3] Note EDF DIPDE – D455616040742 ind1
Compte rendu du technical meeting AIEA DEC for storage facilities for power reactor spent fuel, TI-TM-52204
- [4] Note EDF SEPTEN – D305915016148
« Dossier d'aptitude à la poursuite de l'exploitation des structures de génie civil des réacteurs de 900 MWe vis-à-vis des risques de gonflement interne du béton »
- [5] Note EDF SEPTEN – ENGSGC110195
« Dossier d'aptitude à la poursuite de l'exploitation des structures de génie civil des réacteurs de 1300 MWe vis-à-vis des risques de gonflement interne du béton »

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

2 INTRODUCTION

Dans le cadre de la phase d'esquisse du projet, un certain nombre d'orientations technologiques a été pris. La présente note fournit une synthèse des analyses qui ont abouti aux orientations présentées dans le Dossier d'Options de Sûreté (DOS) [1].

La logique de sélection des choix technologiques a été la suivante :

1. identification des fonctions requérant des orientations technologiques structurantes pour l'installation et définition des exigences associées ;
2. définition des unités fonctionnelles de l'installation et recherche de solutions technologiques en intégrant notamment le REX (benchmark, visites d'installations, échanges à l'AIEA) ;
3. comparaison des solutions technologiques selon leur capacité à satisfaire les fonctions et exigences. En particulier, les solutions technologiques éprouvées ont été privilégiées compte tenu de la durée de vie envisagée de l'exploitation. La référence au REX est essentielle.

Au stade de l'esquisse, les fonctions étudiées (avec leur principale caractéristique) ont été celles du cœur de procédé :

- réceptionner et expédier les convois d'emballages (convois de [] emballages) ;
- décharger et charger les emballages [] ;
- entreposer les combustibles ([] AC REP de natures différentes et RNR, pour un équivalent de [] tmi) ;
- maintenir les conditions d'entreposage du combustible (température de l'eau, caractéristiques radiochimiques).

Ces fonctions principales du procédé ont donné lieu à la création d'unités fonctionnelles dédiées à leur gestion, telles que décrites dans le DOS [1], et à l'identification de choix technologiques :

- unité de gestion des emballages (l'orientation d'un terminal ferroviaire embranché et la possibilité d'accueillir des convois routiers ne sont pas détaillés car ne présentant pas de choix technologiques significatifs) ;
- unité de déchargement (mode de déchargement des emballages) ;
- unité d'entreposage (maîtrise de la sous criticité en bassin, capacité et nombre de bassins, non compartimentage du bassin, autonomie de l'installation) ;
- unité de maintien en conditions d'entreposage des combustibles (système de refroidissement).

Les principaux arguments motivants les choix de conception présentés dans cette note ont été relatifs à l'élimination pratique du risque de découverture des assemblages en bassin et à la performance attendue de l'installation.

Après une présentation du retour d'expérience collecté par EDF dans le cadre du projet (chapitre 3), les principaux choix de conception de l'installation effectués en phase d'esquisse sont décrits avec leurs éléments de justification dans les chapitres 4 à 6. Le chapitre 7 présente différentes thématiques complémentaires et structurantes de la conception d'Esquisse.

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

3 ANALYSE D'INSTALLATIONS EXISTANTES

L'objet de ce chapitre est de présenter les éléments de conception d'autres installations d'entreposage de combustibles collectés par le projet en phase d'esquisse. Cette collecte du REX s'est effectuée grâce aux visites des sites détaillés dans ce chapitre et à la rencontre des équipes en charge des installations. Les chapitres 4 à 6 feront référence à ces installations pour justifier certains choix technologiques.

3.1 CLAB - PISCINE CENTRALISEE D'ENTREPOSAGE DES COMBUSTIBLES USES

Le CLAB est une installation d'entreposage centralisé sous eau de combustibles usés mise en service en 1985. Cette installation située près d'Oskarshamn et exploitée par SKB a pour vocation d'accueillir l'ensemble des combustibles usés du parc de production nucléaire suédois (REB et REP) avant leur mise en stockage définitif après plusieurs décennies d'entreposage. Le CLAB dispose aujourd'hui d'une autorisation pour entreposer 8000 tonnes de combustibles pour une puissance thermique de [] MW.

6300 tonnes sont à ce jour en entreposage. Une demande d'extension à 11 000 tonnes a été déposée auprès des autorités en 2015.

L'installation se compose d'une zone de réception et déchargement des combustibles en surface et d'une partie entreposage située à 40 m de profondeur dans un massif granitique. Les installations souterraines ont été construites en deux temps.

Le déchargement, en surface, dispose de deux lignes distinctes de déchargement sous eau pour un flux de traitement d'environ [] emballages/an. Les emballages y sont préparés à des postes dédiés puis ceints d'une jupe de refroidissement avant d'être introduits dans un premier bassin. L'emballage est alors translaté sous un deuxième bassin et accosté afin de décharger les assemblages dans celui-ci. Ce déchargement correspond à un déchargement mixte « sous-eau » / « sous-fosse ».

Le chargement en paniers s'effectue également dans l'installation de surface. Les paniers sont en acier boré. Le retour d'expérience sur leur comportement long terme en eau claire est favorable. Par ailleurs, le transfert de ces paniers depuis l'installation de surface s'effectue par un puits équipé d'un dispositif de transfert par câbles.

L'entreposage, sous terre, des assemblages de combustibles se fait en eau claire. La partie souterraine de cette installation est constituée de 2 bassins reliés entre eux par un canal permettant le transfert des paniers. La capacité d'un bassin est de 4000 tonnes. Ces bassins sont compartimentés en 5 modules, isolables par des batardeaux en phase de maintenance, mais retirés en exploitation normale. La hauteur d'eau de ces bassins est d'environ 13 m. Le refroidissement de l'eau de ces bassins est réalisé de manière externe par circulation de l'eau du bassin sur des échangeurs situés en surface.

Points saillants pour la Piscine :

Le CLAB présente des caractéristiques intéressantes pour le projet Piscine : entreposage long terme sous eau claire de différents types de combustibles (ici REB et REP), capacité importante des installations (2x4000 tonnes) mise en service de façon graduelle dans le temps confortant la faisabilité technologique et la stratégie de déploiement de l'installation.

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

3.2 PISCINES D'ENTREPOSAGE DE COMBUSTIBLES USES DE LA HAGUE (AREVA – FRANCE)

Le site AREVA de La Hague est un centre de recyclage industriel de combustibles usés qui comporte quatre piscines d'entreposage de combustibles usés (NPH, C, D et E). La vocation de ces piscines est notamment de collecter le combustible irradié UOX en provenance des CNPE du parc EDF en vue de leur retraitement, les combustibles URE et MOX restant entreposés en piscines de désactivation des réacteurs.

Les caractéristiques de ces bassins sont rappelées dans le tableau suivant :

Tableau 1 : caractéristique des piscines d'entreposage de La Hague

	Piscine C	Piscine D	Piscine E	Piscine NPH
Date de mise en service actif	Avril 1984	Juillet 1986	Septembre 1988	Février 1981
Dimensions L x l x h (m)	[]	[]	[]	[]
Epaisseur cuvelage	[]			
Supportage bassin		[]		/
Hauteur d'eau (m)	[]			
Paniers	[]			
Capacité autorisée (tmi)	[]	[]	[]	[]
Puissance thermique prescrite	[] MW	[] MW	[] MW	[] MW
Refroidissement	[]			
Traitement des eaux	[]			

L'entreposage des assemblages de combustibles usés se fait par immersion en eau déminéralisée non borée. Les assemblages sont regroupés dans des paniers ([] assemblages REP ou [] assemblages REB) conçus en acier inoxydable et chemisés par de l'acier boré. Ils sont également fermés par un couvercle empêchant les assemblages de sortir en cas de basculement. Le retour d'expérience sur leur comportement long terme en eau claire est favorable.

Les piscines NPH et C sont reliées entre elles par l'intermédiaire du TIP (Transfert Inter Piscine) qui permet le transfert des paniers à sec d'un bassin à l'autre. Les autres bassins sont reliés entre eux via des canaux de transfert sous eau. Ces bassins ne sont pas compartimentés et reposent sur plots pour les plus récentes (C, D, E).

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

L'installation de La Hague n'étant pas raccordée au réseau ferré, les emballages en provenance des CNPE transitent par le terminal ferroviaire de Valognes à partir duquel, après contrôle et transfert sur des véhicules routiers, ils sont acheminés vers l'installation.

Une fois sur le site, les emballages sont traités via l'atelier de mise sur lorry afin de décharger les emballages de transport depuis les véhicules routiers vers des lorries de manutention sur rail. Cet atelier permet également l'acheminement des emballages soit vers les ateliers de déchargement, soit vers les ateliers de maintenance des emballages.

Deux ateliers de déchargement des emballages sont disponibles afin d'alimenter les piscines d'entreposage :

- L'atelier de déchargement des assemblages sous eau (NPH) qui est raccordé à la piscine NPH. Après préparation de l'emballage, ce dernier est immergé dans l'eau afin de décharger les assemblages et les positionner dans les paniers d'entreposage.
- L'atelier de déchargement des assemblages à sec (T0) qui est raccordé à la piscine D. Une fois l'emballage dans l'atelier et les capots amortisseurs retirés, il est mis à la verticale et est déposé sur un chariot. Il peut ainsi desservir les [] postes de traitement : préparation avant, accostage et préparation après. Après accostage et ouverture de l'emballage, les assemblages sont transférés un par un vers un puits de refroidissement/rinçage/contrôle puis chargés dans les paniers. Ces derniers sont ensuite transférés dans le bassin via un descenseur.

L'évacuation de la puissance thermique résiduelle des combustibles entreposés est assurée par des échangeurs dont le circuit primaire est constitué par l'eau du bassin et le circuit secondaire par de l'eau refroidie par des tours sèches extérieures. Ces échangeurs, appelés [], sont immergés dans les bassins. Cette solution présente l'avantage de supprimer l'implantation de réseaux actifs hors du bassin, de ne pas traverser les voiles des bassins et d'éviter le risque de siphonage des piscines.

Le maintien de la qualité radiochimique de l'eau des bassins est assuré par le traitement permanent de l'eau sur des échangeurs à résines cationiques - anioniques. Ces équipements permettent le maintien de l'activité de l'eau des bassins à une valeur de l'ordre de [] Bq/l en fonctionnement nominal et d'assurer la maîtrise d'une montée d'activité en cas de rupture incidentelle de gaine des combustibles entreposés. Cette solution présente l'avantage de supprimer l'implantation de réseaux actifs hors du bassin, de diminuer notablement les effluents liés à la mise en œuvre du procédé et d'éviter la génération de déchets technologiques volumineux par recyclage de ces structures.

Points saillants pour la Piscine :

Le procédé de déchargement à sec de l'installation de La Hague est considéré comme optimal vis-à-vis des contraintes de la Piscine (flux, radioprotection et sûreté). L'utilisation de paniers mobiles en acier boré et l'entreposage en eau claire, dans des bassins non compartimentés, sont également des solutions technologiques pertinentes pour la Piscine. Enfin, l'utilisation des technologiques immergées pour l'extraction de puissance des bassins et leur purification constitue une bonne pratique à capitaliser dans la perspective de ne pas avoir de traversées des bassins.

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

3.3 GOESGEN - INSTALLATION D'ENTREPOSAGE DE COMBUSTIBLES USES DE LA CENTRALE NUCLEAIRE DE GOESGEN (KKG – SUISSE)

La centrale nucléaire de Goesgen (1 REP 935 MWe) possède une installation d'entreposage de combustibles usés de type piscine dans un bâtiment indépendant du bâtiment réacteur. Le démarrage de l'exploitation a été autorisé en 2008.

Cette installation a été conçue pour accueillir 1008 combustibles usés UOX et MOX (capacité réglementaire maximale d'entreposage de MOX : 200 assemblages) issus de l'exploitation de la centrale de Goesgen, avec une puissance thermique totale à évacuer de [] MW. A ce jour seule la moitié de la capacité d'entreposage a été installée, que ce soit en terme de râteliers (504 emplacements disponibles) ou de capacité de refroidissement (échangeurs, ventilateurs).

Le bâtiment en béton armé qui abrite l'installation fait 37 m de longueur, 17 m de largeur et 25 m de hauteur. Les structures extérieures du bâtiment d'entreposage ont une épaisseur d'au moins 1,5 m, assurant une protection contre la chute d'aéronefs. La structure de la piscine d'entreposage est séparée des parois extérieures, et protégée contre les secousses par des appuis amortisseurs à ressorts. Ce bâtiment comporte une aile connectée par une passerelle au bâtiment des auxiliaires nucléaires, ainsi que deux tours de refroidissement (échangeurs secs). Les utilités de l'installation d'entreposage sont mutualisées avec celles de la tranche. Ainsi, l'alimentation en fluides, l'alimentation électrique, le traitement des effluents et des rejets de la ventilation nucléaire sont assurés par les installations de la centrale.

Le système de refroidissement de la piscine est composé d'échangeurs immergés dans la piscine reliés par un circuit intermédiaire à des échangeurs eau-air situés à l'extérieur dans les tours aérothermes. Ce système permet un refroidissement passif par effet thermosiphon (hors période de canicule avec piscine pleine – ce système est alors complété par des ventilateurs situés en partie basse des tours aérothermes). Le système comporte quatre trains de refroidissement indépendants aménagés de manière symétrique, deux trains étant rattachés à une seule tour de refroidissement. En situation accidentelle (perte d'une tour de refroidissement et des alimentations électriques), il a été démontré que la température de l'eau de la piscine restait inférieure à [] °C grâce au refroidissement passif.

Les combustibles usés sont transférés depuis la piscine de désactivation du bâtiment réacteur jusqu'à l'installation d'entreposage, distante de quelques centaines de mètres, dans un château de transport de type TN12 posé à l'horizontal sur un lorry de transfert sur rail. Le déchargement de cet emballage est réalisé par immersion, les combustibles usés sont entreposés individuellement dans des râteliers fixes installés dans la piscine d'entreposage. L'eau de la piscine d'entreposage est de l'eau déminéralisée non borée.

Points saillants pour la Piscine :

L'entreposage en eau claire est un élément de REX intéressant. Le système de refroidissement passif de l'installation est une cible intéressante qui sera recherchée en conditions accidentelles mais qui n'est potentiellement pas transposable, en fonctionnement normal, à un niveau de puissance tel que celui de la Piscine.

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

3.4 L'ATELIER POUR L'ENTREPOSAGE DU COMBUSTIBLE, APEC (EDF – FRANCE)

L'Atelier pour l'Entreposage du Combustible (APEC) est une installation d'entreposage de combustibles usés et neufs du réacteur à neutrons rapides Superphénix. Il comprend notamment un bâtiment d'entreposage sous eau, un bâtiment d'entreposage à sec et le bâtiment destiné à accueillir les colis de béton sodé issus du traitement du sodium.

Les assemblages combustibles partiellement usagés déchargés du cœur du réacteur de Superphénix sont entreposés dans le bâtiment d'entreposage en eau (piscine). Leur déchargement est terminé depuis mars 2003.

Les bâtiments de l'APEC répondent à des normes de sûreté équivalentes à celles du bâtiment réacteur. Dès sa conception, l'APEC était prévue pour entreposer des assemblages combustibles irradiés ou non irradiés en piscine, ainsi que des objets métalliques usés en conteneurs. Les dispositions constructives retenues permettent donc l'accueil des différents entreposages :

- Conçue en béton armé, avec un revêtement intérieur en acier inoxydable assurant son étanchéité, la piscine contient environ [] m³ d'eau déminéralisée.
- L'impossibilité de vidanger les bassins d'entreposage garantit la protection biologique et le refroidissement permanent du combustible.
- Le risque de criticité (réaction en chaîne) est totalement exclu grâce à l'écartement entre chaque assemblage, qui le rend physiquement impossible.

Points saillants pour la Piscine :

L'entreposage de l'APEC est intéressant pour les caractéristiques d'entreposage des assemblages RNR (eau claire et pas de l'entreposage).

3.5 ECHANGES A L'AIEA

En parallèle des activités de visite d'installations analogues, le projet s'est intéressé aux échanges à l'AIEA dans les domaines des piscines de désactivation des réacteurs et des installations du cycle pour en tirer les bonnes pratiques internationales.

En particulier, le séminaire TI-TM-52204 (juillet 2016) sur la gestion des scénarios du domaine d'extension du dimensionnement des installations d'entreposage de combustibles usés des réacteurs a permis de collecter un REX international (Ref. [3]) significatif en la matière. Les états membres présents (France, Allemagne, Espagne, Roumanie, Slovaquie – régulateurs et industriels) ont pu échanger leurs points de vue et le projet retire de ces échanges les points saillants suivants :

- []

3.6 CONCLUSIONS

L'analyse de la conception et du REX d'exploitation d'installations existantes similaires a permis d'identifier un certain nombre de bonnes pratiques et techniques éprouvées pouvant être intégrées à la conception d'un nouvel entreposage de combustibles usés. En particulier, les points saillants suivants ont été retenus :

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

- Le déchargement à sec ;
- La taille des bassins [] compte tenu des dimensions (masse, capacité et dimensions) des bassins des installations de La Hague et du CLAB ;
- La solution d'entreposage en paniers mobiles ;
- L'utilisation d'eau claire et de paniers en acier boré fermés par couvercle pour la maîtrise de la sous-criticité des combustibles entreposés ;
- Le supportage des bassins sur plots ;
- L'utilisation d'échangeurs immergés pour le système de refroidissement ;
- L'utilisation d'équipements immergés pour la purification de la piscine ;
- La possibilité de progressivité dans le déploiement des capacités thermiques de l'installation ;
- La valorisation d'un appoint en eau externe mobile pour la gestion long terme de la perte de refroidissement avant remise en fonctionnement du système de refroidissement ;
- La mise en œuvre de structures d'entreposage robustes aux agressions externes extrêmes.

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

4 CHOIX TECHNOLOGIQUES – UNITE DE DECHARGEMENT – CHOIX DU MODE DE DECHARGEMENT DES EMBALLAGES

4.1 PRESENTATION DU SUJET

L'activité de déchargement / chargement des emballages de transport constitue la majeure partie du procédé de l'installation de la Piscine et est regroupée au sein de l'unité fonctionnelle de déchargement du combustible. Le périmètre fonctionnel de cette unité concerne :

- la réception des emballages sur lorry ;
- leur préparation avant et après déchargement ;
- le transfert des assemblages dans les paniers ;
- le transfert du panier vers sa position d'entreposage.

Le choix du mode de déchargement pour l'installation tient compte du cahier des charges de l'installation et des autres choix technologiques de l'installation, notamment :

- le flux de déchargement/chargement allant jusqu'à [] emballages par an, soit [] AC ;
- la nécessité de pouvoir recevoir tous les AC du parc REP EDF ainsi que les assemblages RNR de Superphénix ;
- l'entreposage en paniers mobiles ;
- le caractère semi-enterré et renforcé des blocs usine contenant les bassins;
- l'absence de traversées des voiles des bassins sous le niveau de l'eau ;
- l'entreposage en eau claire (non borée).

4.2 PRESENTATION DES OPTIONS ENVISAGEES

Compte tenu des contraintes énoncées ci-dessus, l'analyse a porté uniquement sur le déchargement par immersion et sur le déchargement à sec qui ont fait l'objet d'une étude comparative. Le déchargement « mixte » du CLAB (sous eau + sous fosse) n'a pas été considéré notamment à cause du flux envisagé pour la Piscine supérieur aux capacités de gestion du CLAB [].

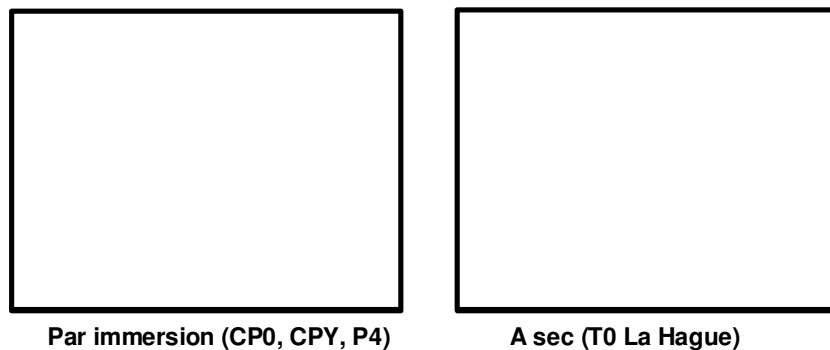


Figure 1 : schémas de principe des modes de déchargement des emballages

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

4.3 SOLUTION RETENUE

La solution retenue pour la piscine d'entreposage centralisé est le déchargement à sec, notamment pour les raisons suivantes :

- Elimination des manutentions d'emballages au-dessus du bassin d'entreposage ;
- Elimination de certains risques criticité (en bassin notamment ou pendant le déchargement des emballages) ;
- Minimisation de la dosimétrie et protection des travailleurs ;
- Limitation forte de la production d'effluents (pas de rinçage de cavité ni de contamination de l'emballage) ;
- Performances industrielles éprouvées pour tenir la cadence de remplissage (retour d'expérience de l'atelier T0 de la Hague) ;
- Limitation des dimensions et du poids du bassin d'entreposage (2 hauteurs d'eau uniquement contre 3 pour le déchargement par immersion) ;
- [].

L'analyse comparative a tenu compte également de contraintes complémentaires portées par l'installation, notamment :

- La faisabilité de la mise en œuvre du programme de surveillance des combustibles a été vérifiée. La solution proposée consiste à réaliser les opérations du programme de surveillance dans la cellule de déchargement. Pour cela, les matériels utilisés en BK seront adaptés pour être intégrés dans des paniers similaires (du point de vue de l'encombrement) aux paniers d'entreposage. La réalisation des contrôles impliquera de positionner simultanément un panier de surveillance et le panier contenant l'assemblage combustible à contrôler au niveau de la trémie de la cellule de déchargement.
- L'adaptabilité aux futures générations d'emballages a été prise en compte par l'emploi de marges dimensionnelles au niveau de l'unité de déchargement. La conception du dispositif d'accostage intégrera les contraintes d'adaptabilité aux futurs emballages. En particulier, les emballages de références considérés à ce jour sont : TN12/2, TN13/2, TN112, TNG3S, TNG3L, R72, complétés par des emballages fictifs permettant le transport de MOX 14 pieds et des assemblages RNR. Un emballage fictif enveloppe de tous les emballages précités est également pris en considération à titre de découplage.

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

5 CHOIX TECHNOLOGIQUES – UNITE D'ENTREPOSAGE

5.1 MAITRISE DE LA CRITICITE EN ENTREPOSAGE

5.1.1 Présentation du sujet

La maîtrise de la sous-criticité des assemblages combustibles dans les situations normales et accidentelles d'entreposage requiert l'utilisation d'un composé neutrophage. Ainsi, le choix technologique se fait entre l'utilisation de :

- neutrophage soluble (eau borée) ;
- neutrophage solide (paniers ou râteliers en acier boré) + eau claire ;
- neutrophage solide et soluble (panier ou râteliers en acier borée + eau borée).

Dans les installations d'entreposage de combustible sous eau, la sous-criticité des assemblages combustibles en situation normale ou accidentelle est assurée en premier lieu par l'écartement entre les assemblages. Si nécessaire, l'utilisation de composants neutrophages solides insérés dans les râteliers ou paniers d'entreposage des assemblages ou soluble dans l'eau d'entreposage est valorisée.

Les piscines d'entreposage de la Hague, du CLAB et de Goesgen utilisent de l'eau claire. Dans ces installations, la géométrie des alvéoles d'entreposage et l'acier boré qui peut les constituer assurent la fonction de maintien de la sous criticité des assemblages.

Dans les piscines de désactivation des CNPE, l'utilisation d'eau borée découle en premier lieu de la nécessité de préserver la continuité avec l'eau borée du circuit primaire. Cette eau borée permet d'assurer des marges complémentaires dans le maintien de la sous criticité.

5.1.2 Analyse des options envisagées

L'utilisation d'eau claire présente l'avantage de simplifier l'exploitation et le procédé puisque cette orientation permet de ne requérir aucun dispositif dédié à l'ajout de neutrophage soluble. Pour les situations d'entreposage du combustible, en fonctionnement normal, la sous-criticité doit alors être assurée par un découplage géométrique et par la présence en quantité suffisante d'acier boré dans les paniers d'entreposage. Cette solution est privilégiée en accord avec les recommandations de l'AIEA en la matière. Il n'y a ainsi pas besoin d'avoir recours à un poison soluble neutrophage type acide borique, ce qui permet d'éviter d'éventuels risques d'accidents de dilution et de mieux préserver le personnel en évitant d'avoir recours à ce produit. Dans les situations accidentelles de manutention sous eau, la sous-criticité est également assurée par les caractéristiques des paniers d'entreposage.

A contrario, l'utilisation d'eau borée apporte une marge supplémentaire d'anti-réactivité mais requiert la mise en œuvre d'un système de borication. Par ailleurs, l'utilisation de l'acide borique présente des contraintes d'un point de vue de la protection des travailleurs compte tenu de sa toxicité et augmente les risques de corrosion du liner.

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

5.1.3 Solution retenue

La solution retenue est l'utilisation d'eau claire pour les raisons précisées précédemment, notamment la simplification du procédé et de l'exploitation permettant de limiter les risques de sûreté et pour les travailleurs. Le REX des différentes installations visitées (ex. La Hague ou CLAB) par le projet montre la faisabilité de la conception de paniers adaptés pour gérer la problématique de sous-criticité indépendamment de l'utilisation de neutrophage soluble.

5.2 MANUTENTION ET GESTION DE LA STABILITE DE L'ENTREPOSAGE DES COMBUSTIBLES

5.2.1 Présentation du sujet

L'entreposage de combustibles usés en piscine requiert l'utilisation d'un dispositif de transport et d'un dispositif de maintien des assemblages combustibles. Quelle que soit la technologie et la condition de fonctionnement de l'installation le(s) système(s) choisi(s) doit(vent) assurer pour les assemblages combustibles :

- leur maintien en position verticale et stable ;
- leur découplage (géométrique et neutronique).

Une réflexion complémentaire a été menée sur l'optimisation de leur manutention individuelle ou collective de façon à minimiser les risques liés à ces opérations.

5.2.2 Analyse des options envisagées

La technologie de panier mobile de type « free standing » utilisée dans les piscines de l'usine de La Hague consiste en des paniers d'entreposage posés sur le liner sans dispositif de maintien. Cette solution rend possible la manutention à faible hauteur (limite les conséquences d'une éventuelle chute de charge, et évite le survol des autres assemblages). La manutention à faible hauteur permet de limiter la hauteur d'eau du bassin ([] m pour l'installation) et donc de réduire la masse du bassin et de l'ouvrage et les efforts statiques et dynamiques sur le génie civil de l'installation. Par ailleurs, cette solution est favorable au regard de la justification de la durée de vie du liner car elle rend possible l'accès en fond et aux voiles des bassins à des fins d'inspection ou de réparation. Enfin, le caractère mobile des paniers permet leur remplacement éventuel au cours de la durée de vie de l'installation. Ce remplacement pourra être effectué au niveau de la trémie de la cellule de déchargement qui dispose de deux positions de panier. En outre, la conception de ce panier permet une protection accrue des assemblages combustibles par la présence d'un capot de fermeture empêchant une sortie non maîtrisée ou l'agression d'un assemblage. Le point de vigilance de cette technologie réside dans la tenue au séisme de ce type de panier qui doit être étudiée plus spécifiquement en fonction des caractéristiques du site et de l'installation.

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

La technologie d'entreposage en râteliers telle qu'utilisée dans certaines piscines de désactivation des CNPE du parc EDF consiste en un réseau d'alvéoles fixées sur le génie civil du bassin d'entreposage (Bugey, CPY et P4). Cette technologie permet une densification accrue de l'entreposage mais est privilégiée dans les bassins disposant d'une garde d'eau importante. Cette solution présente un intérêt vis-à-vis des efforts sur le liner et de la stabilité sous séisme de l'ensemble des alvéoles d'entreposage mais ne présente pas les avantages précités. Par ailleurs, cette solution nécessite de manutentionner les assemblages en dehors d'une « enveloppe » protectrice telle que les paniers peuvent la former.

La technologie de paniers fixés est utilisée dans les piscines du CLAB (SKB en Suède) et consiste à insérer des paniers mobiles d'assemblages combustibles dans un râtelier fixé sur le génie civil. Cette technologie permet le blocage des mouvements de translation des paniers et garantit leur espacement. Toutefois, les opérations de manutention des paniers requièrent un survol des autres paniers et un bassin disposant d'une garde d'eau importante (environ [] m). La présence du râtelier rend les opérations d'inspection et de réparation du liner plus délicates.

Enfin, il est à noter que sur le parc EDF différentes autres technologies de râteliers sont utilisées : sur P'4 et N4, de petits modules en free standing sont utilisés et pour Fessenheim des monoblocs en free standing.

5.2.3 Solution retenue

L'utilisation des paniers mobiles de type « free-standing » est la solution retenue. Cette solution permet une inspectabilité et réparabilité optimales du liner des bassins ce qui constitue un avantage majeur pour cette solution dans la perspective d'une durée de vie séculaire de l'installation. De plus, elle facilite le remplacement éventuel de ces équipements. Enfin, cette option couplée au déchargement à sec des emballages permet de maîtriser les risques liés aux manutentions d'assemblages. Ce choix technologique est conforté par le retour d'expérience favorable des installations de La Hague.

5.3 CAPACITE D'ENTREPOSAGE ET NOMBRE DE BASSINS

5.3.1 Présentation du sujet

La capacité de l'installation prévoit l'entreposage de [] assemblages combustibles, soit environ [] tonnes de métal lourd initial (tmli). Pour atteindre les capacités requises, plusieurs options sont envisageables :

- 1) Un bassin unique de [] tmli ;
- 2) 2 bassins séparés de [] tmli ;
- 3) X bassins séparés de []/X tmli.

Les différentes contraintes prises en compte dans le dimensionnement du nombre de bassins sont présentées ci-après.

5.3.2 Champ de contraintes

La mise en place d'une coque avion pour protéger le bassin d'entreposage est une orientation structurante dans le dimensionnement de la capacité des bassins. En effet, la largeur maximale de la

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

coque avion est limitée par l'épaisseur importante de la toiture requise au regard des chargements statiques et dynamiques. Dans l'installation, la largeur de la coque avion a été limitée à [] m (largeur externe) ce qui se traduit par une largeur maximale de bassin de [] m (largeur interne). Compte tenu de la présence de la coque avion, la capacité maximale atteignable est donc régie par la longueur du bassin. La longueur admissible du bassin est alors contrainte par les efforts engendrés sur le bassin dans les situations accidentelles (thermique, séisme).

A dimensions fixées, le dimensionnement de la capacité d'un bassin dépend principalement de la stratégie d'entreposage des assemblages. La solution d'entreposage en paniers mobiles ainsi que les exigences d'inspection et de réparabilité du liner contraignent à disposer d'une capacité de réserve et de zones de circulation dans le bassin. Ces exigences associées à la puissance thermique des assemblages conduisent à limiter la densification de l'entreposage.

5.3.3 Solution retenue

Ces considérations techniques et industrielles ont conduit à ne pas retenir l'option d'un bassin unique et à privilégier la solution consistant à répartir les [] assemblages en 2 bassins identiques dont la capacité est portée à [] AC soit environ [] tmi. L'analyse des conceptions d'installations analogues (La Hague et CLAB) montre que des dimensions de bassins analogues ont été retenues. Cette solution permet également la construction progressive de l'installation en deux temps (hypothèse de base : 10 ans d'écart entre les mises en service industriel).

Par ailleurs, l'augmentation du nombre de bassins n'apporterait pas d'avantages significatifs en termes de sûreté ni en termes de comportement du génie civil et elle conduirait à complexifier l'exploitation et la conception de l'installation, notamment par des systèmes de transferts entre bassins ou par la multiplication des unités de déchargement des emballages.

5.4 NON COMPARTIMENTAGE DU BASSIN

5.4.1 Présentation du sujet

La maîtrise de la durée de vie du liner des bassins (voir sous-chapitre 7.4) requiert de disposer d'une solution technique pour permettre la réalisation d'une réparation durable du liner sans pour autant devoir évacuer l'ensemble des combustibles entreposés dans le bassin. Deux stratégies sont envisageables pour permettre ces opérations : la réparation en air grâce à une vidange partielle du bassin, qui requiert une conception compartimentée, ou la réparation sous eau qui permet de s'affranchir d'un compartimentage.

Les principaux avantages et inconvénients des deux options sont résumés ci-dessous.

5.4.2 Présentation des options envisagées

Bassin compartimenté : Cette solution consiste à compartimenter le bassin d'entreposage en mettant en place des voiles intermédiaires répartis sur la longueur du bassin. Cette solution est mise en œuvre

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

dans un des bassins de l'atelier NPH de La Hague et dans les bassins du CLAB (SKB en Suède). Ces voiles permettent de séparer physiquement des zones dans le bassin et rendent possible la vidange complète d'un compartiment pour intervention, ce qui en fait le principal intérêt.

Néanmoins, pour être exploitable, cette solution requiert de disposer d'une capacité de réserve équivalente à la capacité d'un compartiment pour permettre le transfert des paniers puis la vidange du compartiment. Pour une capacité d'entreposage donnée, la longueur du bassin est donc augmentée par le compartiment de réserve et par l'encombrement des voiles intermédiaires. Ces voiles de séparation et batardeaux créent autant de nouveaux points singuliers sur le liner qui peuvent le fragiliser.

En cas de réparation ou de maintenance, il est nécessaire de justifier de la robustesse des dispositifs d'isolement du compartiment. En effet, la perte du dispositif d'isolement (batardeaux) conduirait à une baisse significative du niveau d'eau pouvant aller jusqu'à la moitié du niveau d'eau dans le bassin adjacent, en cas de compartimentage de capacité égale. La vidange d'un compartiment conduirait à empêcher toute reprise du combustible pendant toute la durée des travaux.

Bassin non-compartmenté : Cette solution mise en œuvre dans les piscines C, D et E de l'usine de La Hague consiste à faire du bassin un unique compartiment d'entreposage. La mise en œuvre d'une réparation du liner consiste à déplacer les paniers d'entreposage de la zone à réparer et à réaliser la réparation sous eau. Cette solution requiert donc de disposer d'un espace libre suffisant dans le bassin pour dégager la zone de réparation. La taille de la zone à dégager dépend de la technologie de réparation retenue. De manière enveloppe, la réparation par intervention d'un plongeur est la plus contraignante pour le dimensionnement de la capacité de réserve car elle exige le dégagement d'une surface compatible avec les exigences de radioprotection.

La conception d'un bassin non-compartmenté est favorable pour la conception et pour la réalisation de l'ouvrage. Par ailleurs, l'absence de batardeaux limite le nombre d'équipements, augmentant la fiabilité et la disponibilité de l'installation.

5.4.3 Solution retenue

Compte tenu des éléments présentés précédemment, la solution retenue est le non-compartmentage des bassins avec prise en compte d'une capacité de réserve enveloppe permettant les interventions en bassin.

5.5 AUTONOMIE DE L'INSTALLATION

5.5.1 Présentation du sujet

Dans les situations d'extension du domaine de dimensionnement, et notamment lors de la perte prolongée des alimentations électriques, la conception de l'installation doit permettre de justifier la suffisance de celle-ci à garantir sa sûreté avant l'intervention de moyens externes pendant une durée d'autonomie de 72 heures. Durant cette période, aucun moyen externe à l'installation n'est valorisable.

Les orientations de conception de l'installation doivent donc tenir compte des risques engendrés pendant cette période et proposer des dispositions adaptées à la maîtrise de la sûreté de l'installation.

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

Sur l'installation envisagée, quels que soient les événements initiateurs DEC [], les conséquences anticipées sont les suivantes :

- la perte du refroidissement de l'eau des bassins. Dans un premier temps (environ [] heures), l'eau passe de []°C (critère limite du fonctionnement normal) à la température d'ébullition puis le bassin entre en ébullition et l'énergie est évacuée par évaporation de l'eau (environ [] m³/h). Dans cette situation, le niveau de l'eau commence à baisser à un rythme d'environ [] cm/h;
- la perte des systèmes de ventilation des halls d'entreposage et des cellules de déchargement. Dans cette situation, le confinement est assuré par le génie civil de l'installation. Le refroidissement des emballages en cours de traitement et des assemblages en cours de manutention n'est plus assuré par le renouvellement de l'air. A ce stade des études, la cinétique d'accumulation de dihydrogène dans le hall d'entreposage ne requiert pas la reprise de la ventilation pendant la période d'autonomie.
- la perte de l'opérabilité des moyens de manutention. Si la cinétique d'augmentation de la température des gaines des assemblages laisse redouter à terme un effet falaise (dégradation significative des gaines des assemblages) des dispositions d'intervention internes seront mises en œuvre pour remettre l'emballage (ou l'assemblage en cellule) en position sûre. En cas d'impossibilité de mise en œuvre dans les temps impartis, d'autres dispositions devront être mises en œuvre pour reprendre le refroidissement. Ces études seront menées en phase de développement du projet.

5.5.2 Justification des orientations prises

La gestion de la perte prolongée des alimentations électriques pendant la période d'autonomie (72h) repose sur la résistance des structures d'entreposage aux différentes agressions extrêmes et actes de malveillance, à leur inspectabilité et à leur capacité. Ainsi, l'eau contenue dans les bassins est sécurisée y compris dans les situations du domaine d'extension du dimensionnement et confère à l'installation des délais de grâce importants (> 100h vis-à-vis du risque de découverture du combustible entreposé notamment).

Plus spécifiquement, la stratégie adoptée consiste à :

- évacuer la puissance résiduelle du bassin d'abord par augmentation de la température puis par ébullition de l'eau ;
- s'assurer que l'inventaire en eau du bassin permet en cas d'ébullition de garantir la sûreté de l'entreposage avec des marges suffisantes. Le niveau d'eau minimal ([] m, voir § 7.4.2.2.1 et tableau 9 de [1]) doit permettre également les interventions sur site après la période d'autonomie ;
- limiter les rejets induits par l'évaporation puis vaporisation de l'eau. A ce stade des études, le risque induit par la montée en pression du hall d'entreposage est en cours d'évaluation. Le cas échéant, les orientations relatives à gestion du risque seront intégrées à la conception de l'installation (canalisation et maîtrise des rejets).
- dans un délai acceptable et par des moyens d'intervention interne (PUI), mettre les assemblages combustibles en cours de manutention en position sûre, c'est-à-dire :

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

- achever les manutentions des assemblages combustibles en cours de manutention dans la cellule et descendre le panier en cours de remplissage au fond du bassin pour éviter son dénoyage ;
- ramener les assemblages combustibles en cours de manutention dans la cellule ou dans l'emballage.

Après la période d'autonomie, la remise en état sûr consiste à réaliser un appoint pour rétablir le niveau d'eau nominal et continuer la compensation de l'évaporation jusqu'à la remise en fonctionnement du système de refroidissement. Les systèmes de connexion, collecteurs et équipements du système de refroidissement en piscine permettront la connexion d'un système externe diversifié de secours permettant l'évacuation de la puissance (voir § 6.2.4.4 de [1]).

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

6 CHOIX TECHNOLOGIQUES – UNITE DE MAINTIEN DES AC EN CONDITIONS D'ENTREPOSAGE - SYSTEME DE REFROIDISSEMENT DE L'EAU

6.1 PRESENTATION DU SUJET

Le système de refroidissement a pour fonction d'assurer l'évacuation de la puissance résiduelle du combustible et de maintenir une température d'eau permettant une exploitation sûre de l'installation.

Les orientations technologiques doivent tenir compte des spécificités techniques et des orientations de sûreté de l'installation, notamment :

- le principe d'absence de traversée des voiles du bassin sous le niveau de l'eau (élimination pratique du risque de vidange du bassin) ;
- l'exclusion de la circulation externe de l'eau du bassin (l'eau du bassin reste dans le bassin) ;
- le principe de séparation géographique et de redondance des trains de refroidissement pour la gestion des situations accidentelles et des agressions ;
- la mise en service progressive de la capacité thermique de l'installation ;
- la puissance résiduelle à extraire : [] MW.

Compte tenu des contraintes présentées, les systèmes de refroidissement impliquant une circulation de l'eau du bassin tels que le système de refroidissement utilisé dans les BK des CNPE ou le système de refroidissement des bassins du CLAB sont écartés des possibilités. Ainsi, le système de refroidissement sera composé d'échangeurs immergés, d'un circuit d'eau de refroidissement et d'échangeurs externes.

Les différentes solutions technologiques envisageables sont présentées et analysées ci-après.

6.2 JUSTIFICATION DES ORIENTATIONS DE CONCEPTION

Le choix du système de refroidissement comporte plusieurs possibilités d'orientations technologiques, notamment :

- Le choix des échangeurs primaires immergés (échangeurs à plaque, tubulaires) ;
- Le choix de la source froide ;
- Le choix du type de circulation de l'eau de refroidissement (active ou passive) ;
- Le choix des échangeurs externes.

Types d'échangeurs immergés

En raison de la puissance thermique à évacuer, et des contraintes d'encombrement dans le bassin, le choix du type d'échangeur privilégie l'utilisation d'échangeurs ayant une grande capacité thermique surfacique. C'est donc le principe d'échangeurs tubulaires immergés qui est privilégié. Cette orientation prise pour les piscines de l'usine de la Hague dispose d'un REX favorable.

Choix de la source froide

La source froide retenue pour l'évacuation de la puissance résiduelle est l'air sec. Cette solution permet de garantir une bonne disponibilité du media extérieur (air), et de s'affranchir des agressions spécifiques aux sources froides en eau s'appuyant sur une station de pompage standard (ex. prise en glace, etc...).

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

En outre, elle ne nécessite pas l'utilisation de dispositifs d'humidification de l'air et limite l'impact environnemental (pas de prélèvement d'eau ni de rejets thermiques dans les cours d'eau).

Fonctionnement actif

Le choix de la technologie de refroidissement (actif ou passif) dépend principalement de la capacité thermique de l'installation et de l'écart de température entre la source froide et la température de l'eau des bassins. Les capacités thermiques faibles (e.g. Goesgen en Suisse) rendent possible l'utilisation d'un système de refroidissement passif en fonctionnement normal. Cette technologie limite le nombre d'équipements impliqués dans l'évacuation de la puissance thermique et permet une robustesse accrue aux situations de perte d'alimentation électrique. Compte-tenu de la capacité de l'installation Piscine, la solution privilégiée est d'utiliser un système de refroidissement par circulation active en fonctionnement normal. Ce système mis en œuvre dans les piscines de La Hague dispose d'un REX important et favorable.

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

7 THEMATIQUES TRANSVERSES

En complément des orientations technologiques présentées dans les précédents chapitres, un certain nombre de sujets complémentaires ont été abordés en phase d'esquisse, aboutissant à des orientations fortes pour la conception de l'installation.

7.1 STRUCTURES DE GENIE CIVIL

Pour le Génie Civil, trois grands choix de conception ont été effectués lors de l'esquisse, appuyés pour certains par des études exploratoires de type pré-dimensionnement :

- le mode de supportage du bassin ;
- la structure de la coque avion ;
- le liner.

7.1.1 Supportage du bassin

Dans le cadre de la phase esquisse, deux modes de supportage du bassin ont été étudiés de façon à privilégier une solution pour la conception de l'installation en APS : le supportage « mixte » et le supportage « tout appuis ». Ces deux modes de supportages sont détaillés ci-après.

Supportage « mixte »

Le mode de supportage dit « mixte », illustré en Figure 2 ci-dessous, consiste à rigidifier la partie centrale du bassin en la liaisonnant au radier au moyen de voiles transversaux et longitudinaux (en bleu et orange), tout en conservant des appuis néoprène situés sur les voiles aux extrémités du bassin (en vert).

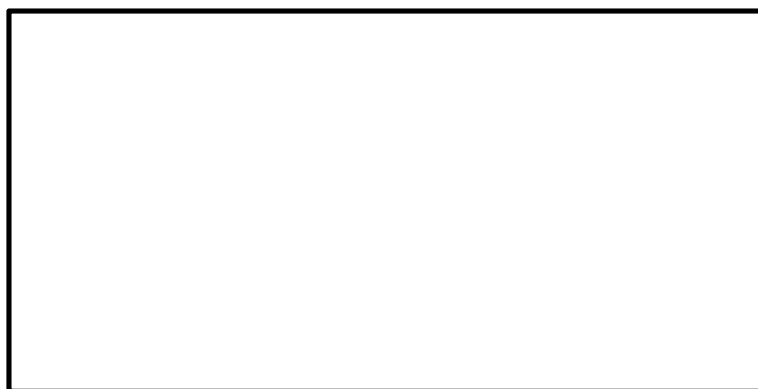


Figure 12 : Conception supportage mixte – Esquisse 2016

¹ La figure est issue du modèle 3D utilisés dans les calculs de pré-dimensionnement réalisés en phase esquisse. Les épaisseurs présentées sont indicatives et dépendent notamment de la conception globale de l'ouvrage ainsi que des chargements appliqués.

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

Cette solution mixte présente l'intérêt de limiter le nombre d'appuis (et donc le nombre de remplacements dans le temps) et permet également de limiter l'épaisseur du radier grâce à la rigidification centrale.

[]

Supportage « tout appuis »

Le deuxième mode de supportage étudié en phase esquisse est plus conventionnel et est utilisé sur des ouvrages similaires (La Hague, Goesgen, CLAB). Il consiste à découpler complètement la structure bassin du reste des ouvrages de génie civil par la présence d'appuis néoprène répartis sous toute la surface du fond de bassin. Les calculs réalisés en esquisse montrent que cette solution permet de limiter les accélérations sismiques en fond de bassin, ce qui est favorable pour la stabilité des paniers.

Les Figure 3 et Figure 4 ci-après sont des extraits du modèle 3D étudié en phase esquisse pour la configuration « tout appuis ». Les structures Génie Civil qui supportent les appuis sont :

- []



Figure 3 : Conception appuis – Esquisse 2016 – Voiles supports



Figure 4 : Conception appuis - Esquisse 2016 - Poteaux supports

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

Solution retenue

La solution « tout appuis » a été choisie comme solution de référence notamment compte tenu du REX d'installations similaires et de la stabilité des paniers qu'elle induit ; la problématique de stabilité des paniers étant essentielle à la démonstration de sûreté de l'installation. Les calculs de dimensionnement qui seront réalisés d'ici mi 2018 permettront de conforter ce choix. Le choix d'un supportage « tout appuis » induit par ailleurs un besoin de rigidifier le radier par épaissement notamment afin de se prémunir des problèmes de flexion rencontrés sur sous-sol mou.

La solution mixte est conservée comme variante possible.

7.1.2 Coque avion



Figure 5 : Vue 3D de la maquette – Coque avion

Les voiles extérieurs et la toiture du bâtiment abritant le bassin d'entreposage et les structures internes de déchargement sont notamment dimensionnés à la chute d'avion. Cet ouvrage, appelé « coque avion », est un ouvrage en béton armé de grande dimension (environ [] m de longueur sur une hauteur d'environ [] m côté entreposage et [] m côté atelier de déchargement et [] m de largeur).

La coque avion est directement liaisonnée au radier commun supportant le bassin et son système de supportage, ainsi que les structures internes correspondant à la partie déchargement de l'installation.

Ce radier commun permet un comportement homogène de l'ensemble des structures.

Compte tenu de la largeur de la coque avion, des goussets longitudinaux sont prévus à la jonction voiles/toiture afin de réduire la portée.

Le décroché de hauteur entre la partie déchargement et la partie entreposage permet de limiter le volume mort à ventiler du hall bassin. Il permet également de réduire la descente de charge en périphérie du radier commun. L'objectif est d'améliorer le comportement du radier côté entreposage en équilibrant la descente de charges entre la périphérie du radier (coque avion) et sa zone centrale (bassin).

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

En cas de chute d'avion, le phénomène de scabbing (chute de blocs de béton en sous face de la toiture au droit de l'impact) est limité et ne remet pas en cause l'intégrité des assemblages. En effet, la hauteur d'eau permet de réduire l'énergie d'arrivée des blocs au niveau des paniers qui sont protégés en partie supérieure par leur couvercle.

De même, l'ébranlement induit sur les structures après chute d'avion a été pris en compte dès la conception de l'ouvrage : le bassin et la cellule sont totalement découplés de la coque avion. Les ondes d'ébranlement au point d'impact sont ainsi considérablement atténuées avant d'atteindre le bassin ou la cellule puisqu'elles doivent transiter par le radier.

Enfin, aucun matériel requis après chute d'avion ne doit être fixé sur la coque avion au-dessus du niveau [] m. De même, aucun matériel non classé ne doit être fixé sur la coque avion [], afin de prévenir tout risque d'agression des assemblages. Les matériels non classés seront conçus et ancrés au GC afin de ne pas devenir agresseur de matériels classés.

La conception privilégiée pour la coque avion est cohérente avec celle étudiée pour l'EPR NM.

7.1.3 Liner

La conception du liner métallique sera déterminée en cours d'APS. Ce choix s'appuiera sur une conception déjà éprouvée sur le Parc.

7.2 COHERENCE DES « CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT » AVEC LA DEFENSE EN PROFONDEUR

L'objectif de cette section est de clarifier certaines terminologies utilisées dans le Dossier d'Options de Sûreté vis-à-vis de la réglementation.

7.2.1 DÉFENSE EN PROFONDEUR ET PRINCIPES DE CONCEPTION

Afin de garantir une robustesse suffisante des niveaux de défense en profondeur, les systèmes, structures et composants doivent être capables d'accomplir leur fonction de sûreté dans toutes les conditions spécifiées pour leur conception, avec un niveau de fiabilité défini en cohérence avec leur rôle vis-à-vis de la sûreté. Pour ce faire, le principe de défense en profondeur, tel que défini par l'Arrêté INB, est appliqué à la conception de PEC et assure une protection graduée des intérêts protégés.

Le concept de défense en profondeur comporte des niveaux de défense successifs destinés à prévenir les incidents et accidents, et à en limiter les conséquences éventuelles. Les exigences relatives à ces niveaux sont :

- 1) « *prévenir les incidents* » : l'objectif est de maintenir les paramètres physiques et les composants de l'installation dans les limites prévues pour une exploitation normale de l'installation, de manière à prévenir les défaillances. La prise en compte, à la conception, de marges au dimensionnement des composants contribue aussi à la prévention d'incidents.
- 2) « *détecter les incidents et mettre en œuvre les actions permettant, d'une part, d'empêcher que ceux-ci ne conduisent à un accident, d'autre part, de rétablir une situation de fonctionnement normal ou,*

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

à défaut, d'atteindre puis de maintenir l'installation dans un état sûr. » : l'objectif est de maintenir l'intégrité des barrières de confinement ;

- 3) « maîtriser les accidents n'ayant pu être évités ou, à défaut, limiter leur aggravation, en reprenant la maîtrise de l'installation afin de la ramener et de la maintenir dans un état sûr. » : les accidents pouvant conduire à l'endommagement d'une ou plusieurs barrières de confinement, l'objectif est de limiter les conséquences radiologiques et de prévenir la fusion d'un ou plusieurs assemblages.
- 4) « gérer les situations d'accident n'ayant pu être maîtrisées de façon à limiter les conséquences notamment pour les personnes et l'environnement. » : ce dernier niveau correspond essentiellement à des séquences accidentelles supposant la fusion du combustible (éliminée en pratique). Le 4^{ème} niveau de défense en profondeur est pris en considération par la gestion de l'élimination pratique du risque de découverture du combustible entreposé.

De façon générale, les niveaux de défense en profondeur doivent être suffisamment indépendants les uns des autres afin que, d'une part, la défaillance d'un niveau ne remette pas en cause l'efficacité des autres niveaux, d'autre part, qu'une cause commune ou qu'un événement particulier (par exemple une agression) ne conduise à la défaillance de tous les niveaux requis pour en gérer les conséquences.

Pour l'installation Piscine, ces niveaux de défense en profondeur se déclinent en conditions de fonctionnement selon les principes exposés aux paragraphes ci-après.

7.2.2 Conditions de fonctionnement du domaine de dimensionnement (DBC)

Les situations du domaine de dimensionnement sont les suivantes :

Fonctionnement normal (DBC1)

Cette condition de fonctionnement correspond à l'état nominal de l'installation autorisé par les spécifications techniques d'exploitation. Pour l'installation PEC, elle inclut les phases de réception, d'entreposage et de reprise, de surveillance de l'entreposage, de jouvences des matériels et les opérations de maintenance et d'essais.

Les études DBC1 répondent au premier alinéa décrit à la section précédente.

Conditions de fonctionnement incidente

(DBC2, fréquence d'occurrence approximative $> 10^{-2}$ par an)

Ces conditions de fonctionnement correspondent à des processus opérationnels s'écartant de l'exploitation normale, dont l'occurrence est une à plusieurs fois pendant la durée de vie de l'installation. En raison des dispositions de dimensionnement, elles ne causent pas de dommages significatifs aux Équipements Importants pour la Protection des intérêts (EIP) mentionnés à l'Article L.593-1 du code de l'environnement. Elles ne dégénèrent pas en accident notamment grâce à des systèmes de détection et des dispositifs permettant le retour au fonctionnement normal ou le maintien de l'installation dans un état sûr.

Les études DBC2 répondent au second alinéa décrit à la section précédente.

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

Conditions de fonctionnement accidentel

(DBC3 et 4, fréquence comprise entre 10^{-2} et 10^{-6} par an)

Ces conditions de fonctionnement impactent les fonctions de sûreté, pour lesquelles le dimensionnement des systèmes de sauvegarde de l'installation permet de respecter les critères de sûreté radiologique.

Les SSC impliqués dans la mitigation de ces conditions feront l'objet :

- d'une part, de marges de conception prises au dimensionnement via l'utilisation de codes et normes robustes,
- d'autre part, d'une démonstration de sûreté justifiant la suffisance des marges prises vis-à-vis des critères de sûreté afin de prévenir un éventuel effet falaise.

Les conditions de fonctionnement DBC3/4 correspondent au troisième alinéa décrit à la section précédente.

7.2.3 Conditions de fonctionnement du domaine d'extension du dimensionnement (DEC)

La démonstration de sûreté pour les conditions de fonctionnement DEC repose sur une démonstration déterministe complétée par une évaluation probabiliste.

Le domaine d'extension du dimensionnement (DEC) complète le domaine de dimensionnement (DBC) par la couverture de conditions de fonctionnement incluant des défaillances multiples, et donc la prise en compte de séquences plus complexes que celles prises en compte dans le domaine de conception de référence.

Les conditions de fonctionnement DEC correspondent aussi à l'item 3) décrit dans la section 7.2.1 relative à la défense en profondeur. En cohérence avec des pratiques internationales, une distinction est notamment effectuée dans le DOS par la définition de niveaux dits 3a) et 3b) (voir § 4.3.3 de [1]) correspondants respectivement aux conditions de fonctionnement DBC3/4 et DEC.

Les conditions de fonctionnement DEC mettent en œuvre des dispositions situées sur le site conformément à l'exigence d'autonomie retenue à la conception de l'installation. La durée d'autonomie prise en compte à la conception correspond à *a minima* 72 h [1] avant la mise en œuvre de moyens de secours complémentaires ou de rechargement de consommables (fuel, eau, ...) par des équipes externes au site. Ce délai consolide la démonstration de sûreté que l'installation soit adossée ou non à une centrale nucléaire.

7.3 ELIMINATION PRATIQUE ET PREVENTION DES ACCIDENTS DE CRITICITE

7.3.1 Définitions

L'article 3.9 de l'Arrêté INB dispose : « *La démonstration de sûreté nucléaire doit justifier que les accidents susceptibles de conduire à des rejets importants de matières dangereuses ou à des effets*

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

dangereux hors du site avec une cinétique qui ne permettrait pas la mise en œuvre à temps des mesures nécessaires de protection des populations sont impossibles physiquement ou, si cette impossibilité physique ne peut être démontrée, que les dispositions mises en œuvre sur ou pour l'installation permettent de rendre ces accidents extrêmement improbables avec un haut degré de confiance. »

La démarche d' « élimination pratique » concerne donc les séquences accidentelles conduisant à des rejets importants et précoces, afin que celles-ci puissent être considérées comme physiquement impossibles ou extrêmement improbables avec un haut degré de confiance.

Les arguments justifiant l' « élimination pratique » doivent avant tout se fonder sur la mise en œuvre de dispositions de conception et, le cas échéant de dispositions d'exploitation (dont de contrôle et d'inspection en service). L' « élimination pratique » repose sur une démonstration déterministe, en tenant compte des incertitudes associées aux phénomènes mis en jeu, complétée si nécessaire par une évaluation probabiliste.

La démarche de sûreté-criticité, encadrée par la décision n° 2014-DC-0462 de l'ASN, présente certaines similitudes avec la démarche d'élimination pratique définie *supra*, un objectif de prévention des risques avec un haut degré de confiance étant visé dans les deux cas. Leurs impacts sur la conception de PEC sont donc regroupés ci-après.

7.3.2 Situations éliminées en pratique et situations étudiées au titre de la démonstration de sûreté-criticité

Pour la piscine d'entreposage centralisé, une démarche d'élimination pratique est mise en œuvre pour les situations menant à la fusion du combustible, ces dernières pouvant entraîner des rejets radiologiques précoces importants ne pouvant pas faire l'objet de dispositions raisonnables et démontrables de limitation des conséquences.

Les situations éliminées en pratique sont celles relatives au découverture du combustible entreposé en bassin suite à une ruine des bassins.

Les situations étudiées au titre de la démonstration de sûreté-criticité sont les suivantes :

- l'accumulation critique de matière fissile consécutivement à une ruine d'assemblage, ceci en tout point de l'installation ;
- l'occurrence de conditions physiques (présence de modérateur, conditions thermohydrauliques,...) ne permettant pas d'exclure le risque de criticité en tout point de l'installation ;

7.3.3 Prévention des accidents de criticité

Un accident de criticité peut être causé par une accumulation critique de matière fissile réorganisée en présence de modérateur (eau, fluide hydrogéné) ou par une variation des conditions de modération.

La conception de la piscine prévient ces scénarios grâce à :

- un déchargement des assemblages combustibles à sec avant entreposage en bassin (la maîtrise de l'absence d'eau ou d'huile sera démontrée en phase de réalisation),

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

- une conception de panier en acier boré permettant d'exclure tout risque de criticité suite à une ruine d'assemblage dans toutes les alvéoles d'un même panier (immergé en eau non borée),
- des conceptions de paniers, de piscine et de dispositifs de refroidissement qui doivent contribuer à pallier les variations de conditions de modération.

Par ailleurs, la chute de paniers lors de leur manutention en piscine ne devra pas remettre en cause l'intégrité structurelle de ces paniers et la capacité de maintenir les crayons en sous-criticité au sein de leur alvéole en acier boré.

La chute d'un assemblage (seul) en piscine devra aussi être exclue lors de la manutention d'assemblages en cellule, ceci par condamnation de la zone libre autour du panier ou présence permanente d'un second panier obstruant totalement la trémie.

7.4 DUREE DE VIE DE L'INSTALLATION ET PRISE EN COMPTE A LA CONCEPTION

La durée de vie envisagée pour l'installation sera probablement plus importante que celle de nos réacteurs, même si l'ordre de grandeur est sensiblement le même. Dans cette perspective, l'installation est conçue pour rendre inspectable et réparable toute zone présentant des équipements importants pour la protection des intérêts protégés : ces équipements peuvent alors être réparés sur place ou remplacés. Par ailleurs, la modularité et le déploiement progressif des capacités thermiques et de purification ainsi que la prise en compte de différents types d'emballages réels ou fictifs permettent d'envisager une évolutivité des performances essentielles de l'installation : l'installation pourra donc mieux s'adapter à un environnement potentiellement évolutif.

Des dispositions particulières sont prévues dès la conception pour permettre la maintenance et le suivi des SSC (Système, Structure, Composant).

7.4.1 SSC pouvant être remplacés

La durée de vie de l'installation implique de devoir prendre en compte les contraintes de maintenance et/ou de jouvence pour chacun des matériels :

- échangeurs, aérothermes, pompes, ...
- ponts, appuis parasismiques, ...

... et de disposer d'accès suffisamment dimensionnés pour permettre la maintenance sur l'installation. Cela nécessite entre autres :

- un chemin de circulation autour de la piscine,
- des moyens de levage de type {monorail + palans} pour les petits matériels (outillages, instruments de contrôle et d'inspection),
- un accès sous le bassin permettant l'inspection de la sous face du bassin et le changement des appuis,
- une cellule de maintenance ou super cellule pour la maintenance des équipements de la cellule de déchargement ...

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

Cette maintenance / jouvence conduit à prendre des dispositions dès la conception pour réaliser ces opérations, notamment le recours à des équipements suffisamment redondés.

Un autre moyen de garantir la durée de vie de l'installation est le recours à la modularité des systèmes, notamment celle du système de refroidissement, pour permettre d'adapter la performance de l'installation à son environnement. Cette approche permettra de prendre en compte les évolutions potentielles de certaines agressions, typiquement les températures extrêmes. Ce système pourra être complété dans le temps au fur et à mesure du remplissage du bassin. En parallèle, la décroissance dans le temps de la puissance thermique du bassin permettra également de récupérer des marges sans modifier l'installation.

Les cinématiques de remplacement des composants sont étudiées dès la phase de développement pour intégrer cette contrainte à la conception (tenue des planchers, création des ouvertures, analyse de risque...).

7.4.2 SSC ne pouvant être remplacés (Génie Civil)

Les structures ne pouvant être remplacés comme les ouvrages de génie civil seront conçus pour une durée de vie cible supérieure à 100 ans.

Conception :

Les ouvrages en béton disposent d'un support normatif complet constitué majoritairement de normes européennes complétées par des référentiels nationaux. L'installation sera conçue suivant les Règles de Conception et de Construction appliquées au Génie Civil (RCC-CW) d'EDF pouvant servir à la conception de tout ouvrage nucléaire.

Afin de justifier la durabilité d'un ouvrage séculaire, il est nécessaire de renforcer la qualité du béton et/ou l'enrobage des armatures en lien avec l'Eurocode 2 et les codes EDF. Par extrapolation des recommandations du référentiel normatif, la durabilité peut être justifiée en surclassant l'ouvrage par rapport à la combinaison des classes d'exposition (action sur l'enrobage des armatures) et en adaptant la formulation du béton avec une approche performantielle.

Pour le liner, le choix du matériau permettra de maîtriser le risque de corrosion. Le Parc EDF permet de bénéficier d'un retour d'expérience important sur les piscines BK. A ce titre, il est envisagé un liner inox dont la nuance sera définie dans une phase ultérieure du projet.

Prévention des dégradations liées au vieillissement :

Un certain nombre de phénomènes liés au vieillissement du béton sont intégrés à la conception. Les problèmes de gonflement interne du béton qui ont pour origine la Réaction Alkali-Granulat (RAG) ou la Réaction Sulfatique Interne (RSI) ont fait l'objet de recommandations respectivement en 1994 et en 2007. Ces phénomènes ont fait l'objet d'échanges avec l'ASN dans le cadre du Projet « maîtrise du vieillissement » (cf. Réf. [4] et [5]).

Le taux de chlorures dans le béton est limité pour éviter toute corrosion des aciers.

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

La connaissance de ces phénomènes permet de s'en affranchir en travaillant sur la formulation du béton. Le guide de l'Association Française de Génie Civil « Conception des bétons pour une durée de vie donnée des ouvrages » présente une approche performantielle et prédictive basée sur les indicateurs de durabilité et sur les témoins de durée de vie. Il propose une méthodologie pour l'obtention d'un béton apte à prémunir les ouvrages des dégradations liées à la corrosion des armatures et à l'alcali réaction, applicable à la conception d'ouvrages type « entreposage ».

Pour le liner, le choix d'un matériau Inox permettra de maîtriser le risque de corrosion. En effet, ce matériau possède une bonne résistance à la corrosion et permet une décontamination facile.

Le risque de fatigue thermique pouvant potentiellement fragiliser la structure du liner sera limité au regard des faibles variations de températures auxquelles sera soumis le bassin. En effet, la température de l'eau et celle du hall seront surveillées en permanence et maîtrisées.

Suivi des ouvrages dans le temps :

Pendant l'exploitation, un programme de maintenance préventive sera appliqué comme pour les ouvrages classés du Parc. Pour le béton, il se traduira par des inspections visuelles régulières avec recherche de traces de corrosion éventuelles, recherche de fissures, notamment au droit des appuis et ancrages, recherche d'armatures apparentes éventuelles, vérification de l'absence de traces d'infiltration d'eau ...

Le choix de conception d'une structure bassin indépendante et accessible en sous face permet ces examens.

La structure du bassin est protégée des éléments extérieurs par la coque avion. La surveillance des conditions d'ambiance (température, air et humidité) et la maîtrise des paramètres physico-chimiques de l'eau participent à la maîtrise du vieillissement de l'ouvrage.

Pour le liner, il est prévu de remplir le bassin en eau déminéralisée, de la contrôler chimiquement et qualitativement (pH, résistivité), de la surveiller tout au long de la durée de vie de l'installation.

En complément aux dispositions prises ci-dessus, un système de détection ayant pour objectif de détecter d'éventuelles fuites sera mis en place. Le risque de bouchage de ce système est écarté du fait de l'utilisation d'une eau non borée (absence de phénomène de cristallisation).

En cas de détection de fuite, il sera possible de procéder à une réparation du liner sous eau. A titre d'exemple, une réparation par plaque en inox soudée [] a été mise en œuvre [].

[]

7.5 PRISE EN COMPTE DU DEMANTELEMENT A LA CONCEPTION

La prise en compte du démantèlement de la Piscine lors de sa conception est basée sur le retour d'expérience des activités et projets de démantèlement en cours ainsi que sur les moyens mis en œuvre pour en faciliter la maintenance. Le référentiel RCC-D sera notamment pris en référence.

Titre: Justification des choix de conception de l'installation

Les deux principaux objectifs à prendre en compte à la conception et permettant de faciliter les activités de démantèlement sont :

- L'optimisation de la réduction des doses (en limitant notamment l'utilisation de matériaux activables, en limitant les durées d'exposition et améliorant l'accessibilité des travailleurs aux équipements) ;
- L'optimisation de la réduction des déchets induits en se focalisant notamment sur la décontamination, la réduction du volume et de la taille des déchets radioactifs et l'identification / catégorisation des déchets ;

Afin de mettre en œuvre ces objectifs, un certain nombre d'exigences sont identifiées :

Choix des matériaux : L'utilisation de matériaux et substances activables, dangereuses et/ou non recyclables seront limitées autant que de possible en favorisant des surfaces facilement décontaminables notamment pour le liner de la cellule. L'utilisation de peintures spéciales favorisant la décontamination ou le choix de matériaux non activables (béton baryté proscrit par exemple) sont des éléments importants du choix des matériaux.

Radioprotection et protection des intervenants : L'implantation des équipements de l'installation permettra leur maintenance et leur démantèlement en minimisant les doses reçues par les travailleurs intervenant dessus. L'utilisation de paniers mobiles, d'échangeurs ioniques immergés, du procédé de déchargement à sec sont autant d'orientations technologiques permettant de minimiser la dose reçue lors du démantèlement de l'installation.

Conception des systèmes : Les systèmes contenant un inventaire radiologique seront décontaminables avant leur démantèlement. Par conception, ce genre de système sera minimisé en cohérence avec les objectifs de radioprotection précédemment cités. Les principaux systèmes concernés seront donc les liners (cellules, bassins) et les systèmes de traitement des effluents.

Déchets induits : La quantification des déchets induits par le démantèlement de la Piscine sera estimée à la conception. Cette quantification dépend de la stratégie de démantèlement, de traitement et conditionnement des déchets, et de la conception détaillée des équipements. Elle sera réalisée avant la mise en service de l'installation.

Documentation : La documentation de conception et de montage/construction de l'installation doit fournir les informations précises permettant la localisation des sources radioactives, des substances dangereuses tel qu'anticipé à la fin de l'exploitation de la Piscine. En particulier, l'orientation du projet Piscine à utiliser une approche d'ingénierie système outillée par un outil de « Product Lifecycle Management » permet de capitaliser l'ensemble des données techniques de l'installation (choix des matériaux, positionnement des équipements, etc.).

Site : l'implantation générale du site prendra en compte l'espace nécessaire au démantèlement, notamment les espaces de dégagement des différentes filières de déchets.