

ANALYSE DE LA DURABILITÉ DE L'INSTALLATION CASCAD A PARTIR DU RETOUR D'EXPÉRIENCE DE 10 ANS D'EXPLOITATION

INTRODUCTION

Les radionucléides à haute activité et à vie longue, formés dans le combustible des réacteurs nucléaires lors de la production d'énergie, présentent des caractéristiques différenciées et leurs durées de vie s'expriment en centaines voire en milliers d'années. Afin de rassembler les connaissances scientifiques les plus étayées et disposer des éléments nécessaires pour le choix concernant les modes de gestion des produits contenant ces radionucléides, la loi française votée en Décembre 1991, a prévu que seraient menées pendant quinze ans des recherches sur la gestion des déchets radioactifs à haute activité et à vie longue. Trois axes de recherches ont été définis pour ces déchets, l'axe n°3 étant relatif au conditionnement et à l'entreposage de ceux-ci pour une très longue durée.

Au sein du CEA (Commissariat à l'Energie Atomique), pilote de l'axe 3, le projet EtLD (Entreposage de très Longue Durée) étudie actuellement différents concepts d'entreposage en s'intéressant aussi bien aux déchets nucléaires précités qu'aux combustibles irradiés qui font partie du périmètre des études. Ces dernières s'appuient notamment sur le retour d'expérience d'installations existantes en exploitation dont les missions couvrent une partie des exigences imposées par la loi de 1991.

L'installation CASCAD (CASemate de CADarache) du CEA CADARACHE illustre le concept d'entreposage à sec de combustibles irradiés refroidis par de l'air circulant par convection naturelle. Dans ce cadre, une étude a été menée par le Service de Conditionnement et d'Entreposage des Combustibles du Département d'Etudes des Combustibles (DEC/SCEC) en collaboration avec SGN (Société Générale des techniques Nouvelles) pour prendre en compte le retour d'expérience sur la conception et le fonctionnement de CASCAD depuis 10 ans d'exploitation.

Après une description sommaire de CASCAD, l'article présente un état des lieux après 10 ans de fonctionnement en examinant les dispositions relatives à la prise en compte du paramètre "durée".

Puis, sous un angle prospectif, deux voies sont examinées afin d'identifier, d'une

part, des dispositions permettant de prolonger au delà de 50 ans la durée de vie de l'installation actuelle et, d'autre part, des recommandations pour des futures installations d'entreposage pour plus de 100 ans. Le premier point a donné lieu à l'élaboration d'une méthode d'analyse de la durabilité qui est exposée.

DESCRIPTION DE CASCAD

L'installation CASCAD, mise en exploitation en juin 1990, fait partie de l'Installation Nucléaire de Base n° 22 (INB22) dénommée PEGASE.

La seconde installation composant cette INB est l'installation PEGASE, entreposage de combustibles irradiés en piscine. CASCAD est destinée à l'entreposage d'éléments combustibles irradiés provenant principalement de réacteurs expérimentaux, pour une durée pouvant atteindre 50 ans.

Les éléments combustibles sont mis en conteneurs avant leur arrivée dans CASCAD, les conteneurs non contaminés (≤ 100 Bq/cm²) sont entreposés directement ou après chargement en panier (figure 1), dans des puits secs métalliques qui sont ensuite fermés de façon étanche.

La première barrière de confinement des matières radioactives est assurée par :

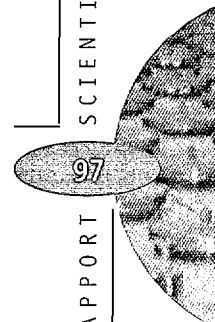
- o la gaine des combustibles, si la démonstration est faite que la gaine restera intègre pendant toute la durée prévue de l'entreposage. Les conteneurs ne sont pas nécessairement soudés, ils doivent être étanches aux poussières,
- o le conteneur, si la gaine des combustibles n'est pas intègre ou si son intégrité ne peut être garantie pendant toute la durée prévue de l'entreposage. Les couvercles des conteneurs sont alors soudés de façon étanche aux poussières et aux gaz.

La deuxième barrière de confinement vis-à-vis de l'environnement est assurée par le puits lors de la phase d'entreposage et par les parois de la cellule de manutention et le corps du puits en cours de chargement ou de déchargement (figures 1 et 2).

Les puits de 6634 mm de hauteur utile et de 346 mm de diamètre interne sont

R. Samoël,
D. Canas,
H. Henry,
P. Battesti
(DEC/SCEC)

COUPE
DE LA CELLULE
D'ENTREPOSAGE
DE CASCAD ET
IMAGES RÉELLES
DES PUIITS.



disposés dans une casemate qui est en communication avec l'extérieur par une prise d'air et une cheminée.

Les puits sont suspendus à la dalle supérieure de la casemate. L'air de la casemate s'échauffe au contact des puits et une circulation d'air s'établit naturellement par convection assurant ainsi l'évacuation de l'énergie calorifique issue des combustibles (figure 3 : ventilation naturelle).

Par ailleurs, le circuit de la ventilation naturelle peut être dérivé sur un circuit d'extraction nucléaire (ventilation forcée).

L'installation a été conçue pour évacuer, par convection naturelle, la puissance maximale de 190 kW dégagée par 315 puits dissipant chacun 600 W.

A la date de rédaction de cet article, 2 types d'éléments combustibles sont présents dans CASCAD, entreposés dans 151 puits :

- les combustibles du réacteur EL4 (Réacteur à Eau Lourde n°4) du site des Monts d'Arrée de Brennilis, conditionnés dans des conteneurs en acier inoxydable avec des couvercles soudés. Ils sont entreposés dans 89 puits,
- les combustibles issus de réacteurs du programme de propulsion navale, conditionnés dans des conteneurs en acier inoxydable avec des couvercles vissés. Ils sont entreposés dans 62 puits.

De plus, il est prévu, à partir de l'année 2000, d'entreposer dans CASCAD en puits d'autres types de combustibles : ce sont des combustibles issus des réacteurs PHENIX et OSIRIS, ou issus de la filière UNGG (Uranium Naturel Graphite Gaz).

La puissance thermique dissipée par les combustibles actuellement entreposés est de l'ordre de 28 kW.

L'installation est dimensionnée pour résister aux sollicitations dues au SMS (Séisme Majoré de Sécurité) qui est d'intensité IX sur l'échelle MSK (Macroseismic Scale) pour le centre de CADARACHE.

Pour plus de précisions sur l'installation, se référer à [2].

PRISE EN COMPTE DE LA DURÉE ET ÉVOLUTION DE L'INSTALLATION APRÈS 10 ANS DE FONCTIONNEMENT

L'objet de ce paragraphe est de rappeler les exigences liées à la durée de vie prises en compte lors de la conception de l'installation et de faire le point après 10 ans de fonctionnement. Certains constats ont nécessité la mise en œuvre d'actions particulières qui sont alors mentionnées.

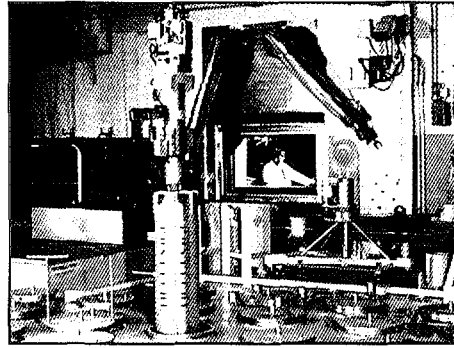


Figure 1 : Manutention dans la cellule et mise en puits

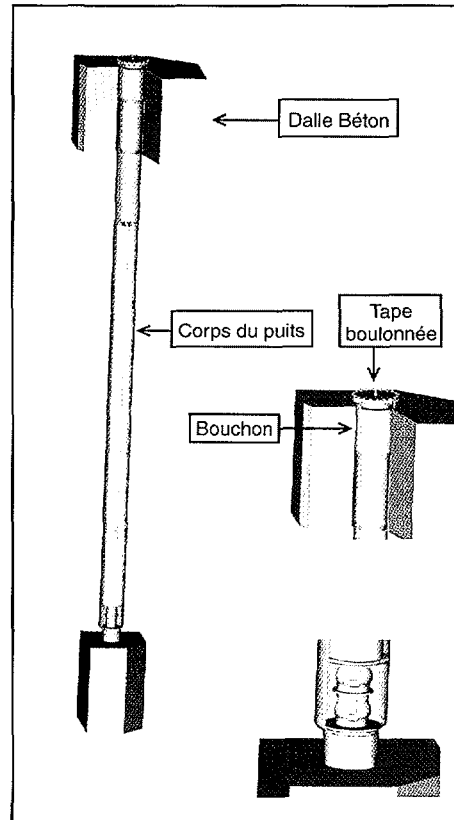


Figure 2 : Puits, tête et pied de puits CASCAD

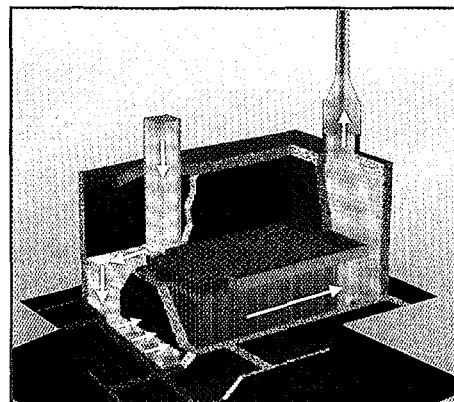
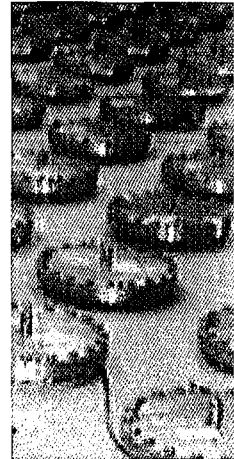


Figure 3 : Ventilation naturelle de CASCAD



Cette phase d'état des lieux a enrichi le retour d'expérience sur CASCAD et est apparue fondamentale avant d'engager une analyse de la durabilité.

Reprise des conteneurs

Une donnée de base de l'installation CASCAD précise que la reprise des conteneurs entreposés doit être possible pendant toute la durée de vie de l'installation. En effet, l'exploitant doit être en mesure de reprendre un conteneur en vue d'un examen ou, dès lors qu'une décision aura été prise concernant le devenir des combustibles, de les évacuer vers l'installation appropriée. Cette exigence est assurée par le choix d'un entreposage en puits fermé par une tôle boulonnée et l'existence d'un jeu diamétral entre le conteneur et le puits compatible avec le système de préhension des conteneurs. Lors des campagnes de chargement et des inventaires des conteneurs entreposés nécessitant leur reprise, aucun problème n'a été rencontré ce qui représente environ 3000 opérations de transfert.

Contrôle de la première barrière de confinement

Le contrôle de l'intégrité de la première barrière s'effectue par l'analyse d'un échantillon de l'atmosphère interne du puits prélevé par le biais d'un raccord auto-obturant situé sur la tôle boulonnée. Le krypton 85 caractérisant la perte du confinement des combustibles est particulièrement suivi.

Aucune anomalie n'a été constatée lors de ces contrôles effectués semestriellement, notamment aucune présence de krypton 85.

Inspection visuelle partielle de la cellule d'entreposage

Dans le projet EtLD et pour obtenir un retour d'expérience sur l'évolution du béton et de l'acier après 10 ans d'exploitation ainsi que sur l'état d'empoussièrement de la casemate, une inspection de la casemate a été effectuée. La salle des puits étant indépendante et inaccessible à l'homme par construction, la caméra, résistant à une dose cumulée de 3.10^4 rad, est descendue par le conduit de cheminée de la ventilation naturelle par l'intermédiaire d'une structure légère et de câbles (figure 4).

La première rangée de puits se trouve à environ 4 mètres de la caméra. La valeur maximale du débit de dose mesuré est de 2220 mGy/h à mi-hauteur des puits. Cette inspection est à la base de plusieurs remarques sur les puits détaillées ci-dessous.

Puits

Les puits doivent garder leur étanchéité dans la durée. Le matériau (acier 304) a été

choisi pour résister à la corrosion dans les conditions d'environnement de l'installation.

Après 10 ans de fonctionnement, l'inspection partielle de la cellule d'entreposage à l'aide d'une caméra a permis de mettre en évidence l'absence de toute corrosion sur les puits en acier inoxydable. Les puits ont encore leur aspect d'origine avec des traces de meulage parfaitement brillantes, sans ternissement : l'oxydation est négligeable, bien inférieure au micromètre (figure pleine page).

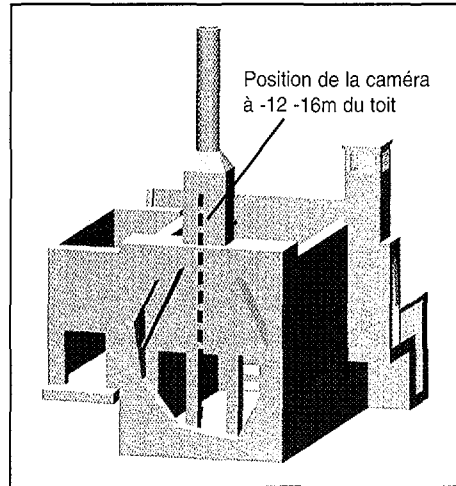


Figure 4 : Inspection partielle de la casemate par le conduit de sortie de la ventilation naturelle

Têtes de puits

L'étanchéité au niveau des têtes de puits est réalisée par des joints métalliques à double tore à revêtement aluminium. Leur résistance notamment à l'irradiation permet de conserver le niveau d'étanchéité dans le temps. Aucun problème sur ces joints n'a été constaté.

Empoussièrement de la casemate

L'empoussièrement de la casemate dû au passage de l'air de la ventilation naturelle est limité par le filtre électrostatique se trouvant à l'entrée du circuit de refroidissement. L'inspection visuelle réalisée à la sortie du circuit de l'air de refroidissement n'a montré aucun empoussièrement particulier. L'inspection qui sera réalisée fin 1999 côté entrée complètera ce résultat.

Le filtre électrostatique est constitué d'un ensemble de 20 cellules ionisatrices et collectrices. L'objectif de filtration concerne les particules de dimensions entre 15 et 30 μm . Dans cette gamme de particules, l'efficacité de la filtration électrostatique est proche de 100% grâce à la faible vitesse de passage d'air. L'efficacité s'étend jusqu'à des dimensions de particules proche de 1 μm . Lors du nettoyage des cellules, effectué en 1999, un prélèvement a été réalisé afin

d'analyser la granulométrie. A titre indicatif, l'empoussièrément au bout de 50 ans a été calculé. Pour un taux de poussières de $50\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ avec un taux d'épuration de 90%, le poids de poussières accumulées dans la casemate serait de l'ordre de 220 kg ; le poids de poussières résultant du béton serait du même ordre de grandeur.

Cette analyse granulométrique a révélé que l'efficacité du filtre s'étend jusqu'à des particules de diamètre de $0,4\mu\text{m}$.

Jeu en pied de puits

Un jeu axial en pied de puits compris entre 46 et 53 mm est présent pour faire face à trois phénomènes : le fléchissement de la dalle à laquelle sont suspendus les puits, la dilatation thermique du puits et les mouvements lors d'un séisme.

La flèche actuelle est de l'ordre de 8 mm pour un chargement de l'ordre de 50% de la casemate. Une valeur de 12 mm est attendue pour le chargement complet (marge laissée de 20 mm), la marge laissée pour la dilatation thermique et le séisme étant de 14 mm. La soudure en pied de puits occupe une hauteur maximale de 12 mm.

Conteneurs

Les inspections visuelles réalisées à plusieurs reprises, lors des inventaires notamment, n'ont montré aucun défaut sur l'extérieur des conteneurs en acier inoxydable.

Béton

L'inspection visuelle réalisée par le conduit de sortie de la ventilation naturelle n'a pas montré de défaut du béton de la casemate.

En conclusion, après 10 ans de fonctionnement, les investigations menées confirment le bien fondé des dispositions retenues sur CASCAD pour prendre en compte le paramètre "durée".

ANALYSE DE DURABILITÉ DE CASCAD

Après l'état des lieux, une analyse de durabilité a été engagée afin d'identifier les facteurs limitant la durée de vie de cette installation.

Cette analyse de durabilité a été menée en associant une approche de type AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) à une approche de type combinaison d'événements. Nous avons adapté l'approche AMDEC en simplifiant l'aspect probabiliste de la méthode mais en intégrant la notion de robustesse vis-à-vis de perturbations internes et externes au système.

L'association d'une méthode de combinaisons d'événements permet par ailleurs de traiter les défaillances multiples qui deviennent probables dans la durée.

L'approche AMDEC consiste à identifier de façon systématique les risques de dysfonctionnement des systèmes puis à en rechercher les effets. Elle permet d'aider à la recherche des actions correctives adaptées. Ces actions peuvent concerner aussi bien la conception de systèmes que leur fabrication, leur utilisation ou leur maintenance. Les objectifs que vise l'analyse sont le maintien des fonctions de l'installation avec leurs performances (par exemple le maintien de l'entreposage dans 315 puits) et le maintien des exigences liées à la sûreté et à la reprise.

Les effets directs ou résiduels, c'est-à-dire après application des dispositions retenues, sont alors combinés pour évaluer leur acceptabilité par rapport à la mission et aux objectifs de l'installation.

Par contre, l'analyse n'a pas pris en compte la dimension économique : l'approche est restée purement technique. C'est une limite des travaux menés. Afin de compléter l'étude effectuée, il faudrait évaluer le coût des dispositions et le comparer par exemple au coût de remplacement de l'installation.

Les différentes étapes développées au cours de l'analyse de durabilité sont détaillées dans les paragraphes qui suivent. Un logigramme de synthèse est proposé au paragraphe h).

a) Définitions

Un **composant** est une entité (système physique,...) qui assure une fonction requise dans des conditions données de fonctionnement et de sûreté. Cette entité peut-être un matériel, par exemple le puits, ou un ensemble de matériels, par exemple la ventilation nucléaire.

Les **paramètres dimensionnants** sont un ensemble de grandeurs qui caractérisent le composant. Ces grandeurs sont issues de la prise en compte des performances à atteindre ou des contraintes à prendre en compte. Par exemple, les paramètres dimensionnants du composant conteneur sont sa masse, sa géométrie, ses dimensions, son taux de fuite...

La **durabilité** est l'aptitude d'une entité à demeurer en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions d'utilisation et de maintenance prévues jusqu'à ce qu'un état limite soit atteint. **L'état limite** est atteint à la fin de vie utile de l'installation. La fin de vie utile de l'installation est atteinte lorsque l'on ne peut plus réaliser les fonctions "procédé" identifiées avec un niveau de sûreté satisfaisant.



La **robustesse** caractérise le comportement d'un système en présence de perturbations.

b) Rappel des données de base, missions et objectifs de CASCAD

Les données de base relatives à l'installation d'entreposage à sec CASCAD ont été définies par le CEA dans l'avant projet sommaire de juin 1985. Elles font suite aux réflexions menées entre 1983 et 1985 par le groupe de travail "stockage à sec des combustibles EL4". Ces données se sont traduites par des objectifs à atteindre lors de la conception :

- la durée d'entreposage fixée à 50 ans,
- le refroidissement passif des combustibles irradiés assuré par circulation d'air en convection naturelle,
- le confinement statique réalisé par deux barrières avec possibilité de contrôle dans le temps de l'intégrité de la première barrière,
- possibilité de reprise des combustibles à tout moment,
- installation possédant des réserves nécessaires à la réalisation future d'une extension de la partie entreposage, de dimensions voisines de celles de l'installation prévue.

c) Analyse fonctionnelle

Une première partie de l'analyse consiste en une décomposition fonctionnelle qui nous permet d'identifier l'arborescence de composants réalisant les diverses fonctions.

Cette décomposition en fonctions s'est effectuée sous l'angle "procédé". Le "procédé" est défini par l'accueil des combustibles irradiés et leur entreposage en puits. Trois types de fonctions ont été distinguées :

- les fonctions principales du procédé qui appartiennent au cœur du procédé,
- les fonctions secondaires du procédé qui sont nécessaires pour assurer l'exploitation mais non spécifiques au procédé,
- les fonctions auxiliaires du procédé qui sont indépendantes de l'entreposage en lui-même et gérées hors du bâtiment, au niveau du site de CADARACHE (figure 5).

Des fonctions similaires ont été définies pour la reprise des combustibles. Deux décompositions fonctionnelles sont obtenues : pour le chargement et pour le déchargement des combustibles.

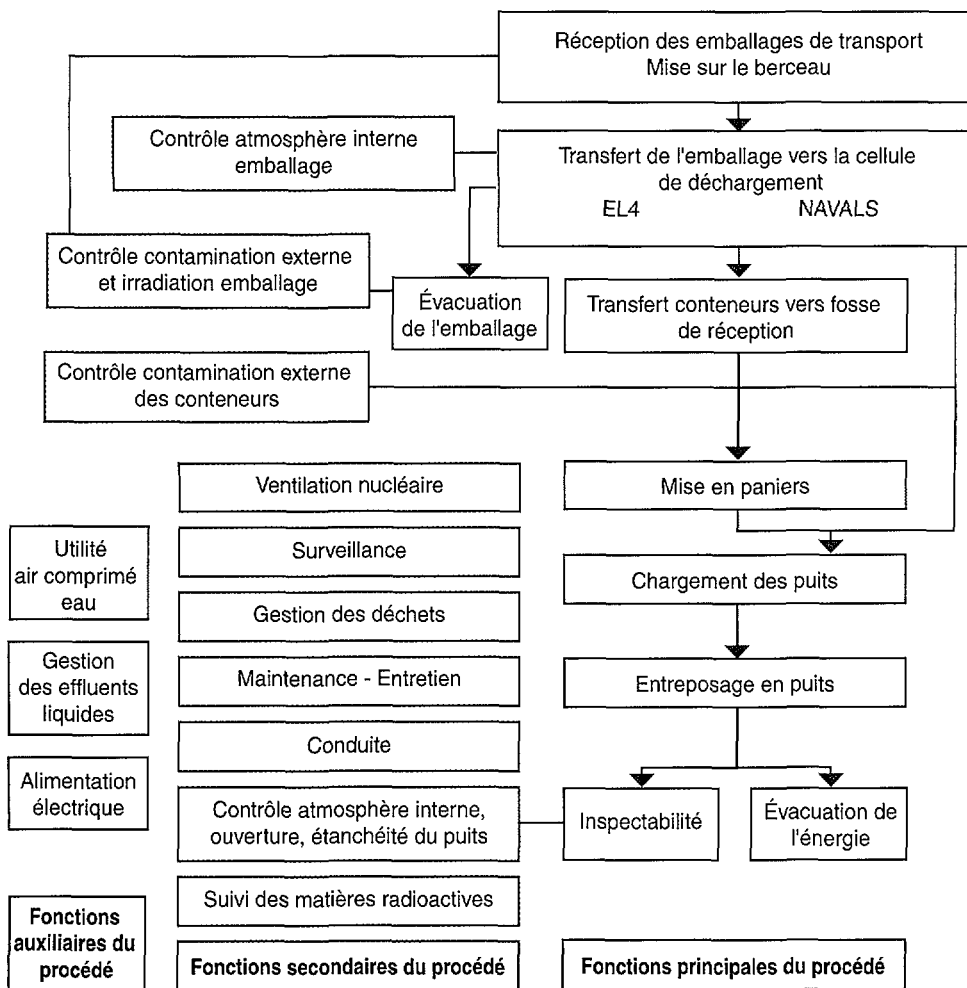
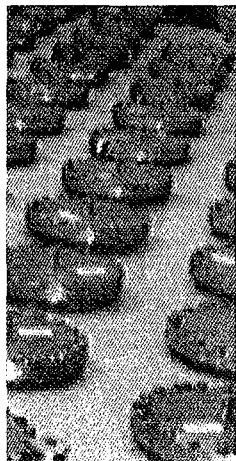


Figure 5 : Analyse fonctionnelle " procédé " de chargement des combustibles irradiés

Toutes ces fonctions sont prises en compte pour la base de connaissance (paragraphe d).

L'étape suivante consiste à répertorier les équipements auxquels les différentes fonctions sont allouées.

d) Choix des composants - Collecte des données - base de connaissance

Lors de cette étape le cheminement de la conception est retracé ainsi que tous les choix de dimensionnement justifiés. Une arborescence de contraintes est alors réalisée. Celle-ci provient du diagramme de contexte où apparaissent les interfaces de l'installation avec l'extérieur :

- le site (au niveau géologique,...),
- les installations expéditrices, l'unité de surveillance, l'unité de conditionnement, l'unité de production des fluides et énergie, l'unité de collecte et traitement des effluents,
- le personnel.

L'installation et ses composants doivent répondre à des fonctions de contraintes de conception qui sont déclinées en contraintes liées à la sûreté, liées à la reprise et liées à la durée.

Les contraintes de conception liées à la sûreté sont l'ensemble des risques d'une analyse de sûreté : risques internes d'origine nucléaire et non nucléaire et les risques d'origine externe.

Les contraintes de conception liées à la reprise et à la durée sont issues de la définition de l'installation d'entreposage CASCAD déclinée dans les données de base.

La conception a pris en compte les contraintes au niveau des composants ce qui nous permet de déterminer des paramètres dimensionnants les caractérisant. Nous obtenons donc une base de connaissance de l'installation CASCAD où sont mis en relation :

- les composants,
- les paramètres dimensionnants,
- les valeurs des paramètres,
- les contraintes de conception,
- les fonctions du procédé.
(figure 6).

Le résultat de cette approche définit 38 composants caractérisés par 132 paramètres dimensionnants pour 20 fonctions procédé. Ces paramètres représentent la connaissance essentielle de l'installation CASCAD. Les composants couvrent l'ensemble des Eléments Importants pour la Sûreté (EIS) mais également d'autres équipements qui contribuent à la disponibilité de l'installation. De plus, tous ces choix de conception ont été justifiés grâce au fonds documentaire présent sur

l'installation : la colonne "traçabilité" du tableau de la figure 6 précise l'origine de la justification.

e) Approche AMDEC

Le système étudié étant défini, l'approche de type AMDEC s'applique à tous les composants. Plusieurs hypothèses sont retenues pour cette analyse :

- seuls, les composants participant aux fonctions principales du procédé sont retenus, ce qui représente 22 composants,
- tous les équipements sont opérationnels sans préavis,
- le référentiel de sûreté et d'exploitation de l'INB est appliqué,
- les essais d'ensemble périodiques ainsi que la maintenance sont réalisés.

L'AMDEC standard a été adaptée pour introduire l'approche par perturbation issue des travaux en automatique avancée notamment sur la commande robuste [5, 6]. Ce type de commande consiste à trouver les actions à faire sur un système afin de minimiser l'influence des perturbations et d'assurer un certain niveau de performances, c'est-à-dire que les paramètres dimensionnants du système (variables d'état ou sorties au sens de l'automatique) restent aussi voisins que possible d'une grandeur de consigne. Dans les travaux en automatique, la mise sous forme standard du problème de commande robuste est recherchée avec caractérisation des perturbations et de la sensibilité du système à ces dernières, notions qui sont au cœur de la robustesse.

Perturbations

Des perturbations de trois types sont appliquées sur les composants :

- les perturbations d'origine interne qui sont des perturbations enveloppes pour chaque composant et des perturbations provenant du retour d'expérience de l'exploitation. Le dernier point est issu de l'analyse des faits marquants se produisant sur l'installation,
- les perturbations d'origine externe ayant un impact sur le dimensionnement : le vieillissement, la climatologie, l'irradiation, la température, l'obsolescence de la technologie,
- les perturbations d'origine externe dont l'impact n'est pas maîtrisé : évolution du parc des emballages de transport, évolution de la législation, des normes et exigences de sûreté, évolution des codes de calculs.

En ce qui concerne les effets du vieillissement, conformément aux principes de sûreté émis par le Conseil Consultatif International pour la Sûreté Nucléaire [4], ils sont considérés comme cause commune de défaillance. Ceci implique la possibilité de



Composant	Paramètre dimensionnant	Valeur du paramètre	Traçabilité	Rappel des contraintes de conception	Fonctions du procédé associées au composant
Puits	Matériau	Acier inoxydable Z6CN18-09 (304)	Dossier TQC (Tel Que Construit)	Durée (50 ans) Confinement	- Chargement des puits
	Diamètre	346 mm de Ø intérieur	Dossier TQC	Évacuation de l'énergie Séisme (SMS)	- Entreposage en puits
	Hauteur	7,695 m	Dossier TQC	Évacuation de l'énergie	- Évacuation de l'énergie
	Épaisseur	8 mm	Dossier TQC	Séisme (SMS) Manutention Durée (50 ans)	- Surveillance
	Pas	Pas triangulaire isocèle = 0,8 m et de hauteur = 0,7 m	Dossier TQC	Évacuation de l'énergie Criticité	- Déchargement des puits
	Taux de fuite	$\leq 10^{-5}$ Pa.m ³ /s	Dossier TQC	Confinement	
	Contamination interne	<1 LDCA ¹ en Kr85	Contrôle semestriel	Confinement	
	Chargement thermique	≤ 600 W (3 à 5 paniers ou conteneurs)	Dossier initial	Évacuation de l'énergie	
	Chargement	≤ 1750 kg par puits	Dossier initial	Séisme (SMS) Dimensionnement (fluage de la dalle)	
	Garde thermique (Hauteur de chargement)	Environ 1 m (EL4)	Dossier TQC	Évacuation de l'énergie	
	Jeu radial en pied de puits	Entre 0,7 et 1 mm	Dossier TQC	Séisme (SMS)	
	Jeu axial en pied de puits	46-53 mm	Dossier TQC	Séisme (SMS) Dimensionnement (fluage de la dalle et thermique)	

Figure 6 : exemple de la base de connaissance

défaillances multiples justifiant le recours à une méthode de combinaisons d'événements (paragraphe f).

Évaluation des effets

Les effets des perturbations possibles sur le composant sont analysés au niveau du système, de la sûreté et de l'exploitation de l'installation.

Au niveau système, on s'intéresse à l'effet direct et à l'effet induit sur le procédé. Au niveau sûreté, on se réfère à l'analyse présente dans le rapport de sûreté. Au niveau exploitation, la non-disponibilité de l'installation est quantifiée. Dans la suite de l'approche, les dispositions à mettre en œuvre pour prolonger la durée de vie de CASCAD

sont identifiées sur ces trois items, ce qui permet de déduire des événements élémentaires classés en familles d'événements. Un exemple de ligne de tableaux réalisés est présenté figure 7.

f) Événements potentiels - combinaisons d'événements

Les événements sont regroupés en familles. Nous obtenons 25 familles d'événements. Lors de cette étape il convient de chiffrer le temps d'indisponibilité du composant (pour réparation) et de la fonction associée. Ces familles sont par exemple :

- l'événement associé à la figure 7 est : "Impossibilité de charger ou décharger un puits pendant 2 semaines,

¹LDCA : Limite Dérivée de Contamination Atmosphérique



Composant	Perturbation	Effet en local et propagé sur			Mesures préventives prises actuellement pour limiter les conséquences		Dispositions prises pour prolonger la durée de vie au-delà de 50 ans	Facteur limitant la durée de vie
		Système	Sûreté	Exploitation	Exploitation	Maintenance		
Pont	Vieillessement	Fiabilité abaissée, risque de corrosion vieillissement câbles et connecteurs	Chute de charge	Arrêt de la campagne, risque de perte d'informations	Climatisation du local. Essais globaux. Formation opérateurs. Mise à jour de la documentation technique.	Contrôle et essais périodiques. Surveillance de l'état des protections.	Vérifications complètes des composants du pont (grande révision). Démontage de certains composants en phase d'entreposage pour une facilité de maintenance et augmenter leur durée de vie.	Non

Figure 7 : Exemple de tableaux réalisés lors de l'analyse de durabilité

- "Impossibilité d'évacuer et d'accueillir l'emballage pendant 2 jours, 4 jours, 2 semaines, ou 5 semaines",
- "Nécessité de transférer le combustible vers une autre installation pouvant l'accueillir pour re-conteneurisation des combustibles",
- "Nécessité de mise en service de la ventilation forcée de secours dans un délai de 2 jours",
- "Nécessité de transférer les conteneurs entreposés dans le puits défectueux vers un puits de servitude dans un délai d'un an".

Un travail de combinaison des familles d'événements a alors été effectué. En effet, un événement unitaire qui ne limite pas la durée de vie de CASCAD combiné à un autre événement unitaire peut alors signifier la fin de vie de l'installation c'est-à-dire l'impossibilité de réaliser les fonctions procédé à un niveau de sûreté satisfaisant. Les temps d'indisponibilité des composants ou des fonctions dus à l'événement considéré permettent d'éliminer différentes combinaisons. Lors des combinaisons, on envisage tous les ordres d'apparition possibles et on étudie les effets immédiats, à court terme et à long terme.

L'approche de combinaisons d'événements rejoint la méthode dite MCPR (Méthode de Combinaisons des Pannes Résumées) qui est largement utilisée dans le domaine de l'aéronautique pour la connaissance des pannes globales. Elle fait partie des "outils" de la sûreté de fonctionnement. L'événement potentiel obtenu est-il acceptable au regard

des données de base, missions et objectifs de l'installation ? Les dispositions à mettre en œuvre pour prolonger la durée de vie de l'installation au delà de 50 ans sont alors identifiées.

g) Dispositions pour prolonger la durée de vie de CASCAD

Les dispositions proposées permettent de faire face aux perturbations ou aux incertitudes sur le système.

Les dispositions sont traitées par composant pour les différentes perturbations, événements ou combinaisons d'événements élémentaires identifiés. Les dispositions cherchent à minimiser les conséquences des perturbations sur le système.

Elles peuvent être liées directement aux perturbations ou à l'absence de connaissance des mécanismes d'évolution des composants (cinétique de dégradation) soumis aux perturbations ce qui ouvre des axes de recherche et développement.

Ce sont des opérations de maintenance, d'exploitation, des contrôles supplémentaires à effectuer ou des modifications à réaliser. Trois types de dispositions permettent de prolonger la durée de vie de CASCAD :

- type 1 : des dispositions figurant actuellement dans le référentiel de sûreté de CASCAD : les composants concernés ne sont pas critiques vis-à-vis de l'extension de la durée de vie,



- type 2 : des dispositions nouvelles nécessitant la planification d'actions. En l'absence de la mise en place de ces actions, les composants concernés limitent la durée de vie,
- type 3 : des actions de surveillance pour suivre l'évolution de certains composants en raison de la difficulté, sinon de l'impossibilité, ou du coût de leur réparation et pouvant limiter la durée de vie.

Ces dispositions font apparaître les facteurs et les composants limitant la durée de vie de CASCAD. Par ailleurs, l'analyse fait apparaître des axes de recherche et développement. Il en résulte une liste de l'ensemble des dispositions qu'il faudrait réaliser pour une installation qui serait exploitée dans le même référentiel que CASCAD mais dont la durée d'exploitation pourrait aller au delà de 50 ans.

Par exemple, certaines dispositions qui ont été retenues dans l'analyse sont :

- pour le pont de la cellule de manutention et les autres moyens de manutention, une

vérification complète des composants au cours de grandes révisions (check-up) (dispositions de type 2), maintenance préventive associée à une série d'essais globaux (type 1),

- pour les puits, il convient de surveiller les pieds de puits en mettant en place une action périodique de surveillance par inspection visuelle par caméra (type 3) et voir la possibilité d'utiliser des moyens de mesure par ultrasons pour la dégradation de l'acier,
- pour la tenue du béton, il convient de définir un moyen de vérification de l'état du béton intérieur de la cellule d'entreposage et étendre les contrôles de débit d'équivalent de dose, notamment au contact des parois (type 3),
- pour les emballages de transport, on doit s'assurer de l'existence d'un emballage susceptible de permettre le désentreposage et qui soit adapté à la structure d'accueil des combustibles (type 3),
- au niveau de tous les équipements concernés par la perturbation "obsolescence de la technologie", il convient d'anticiper

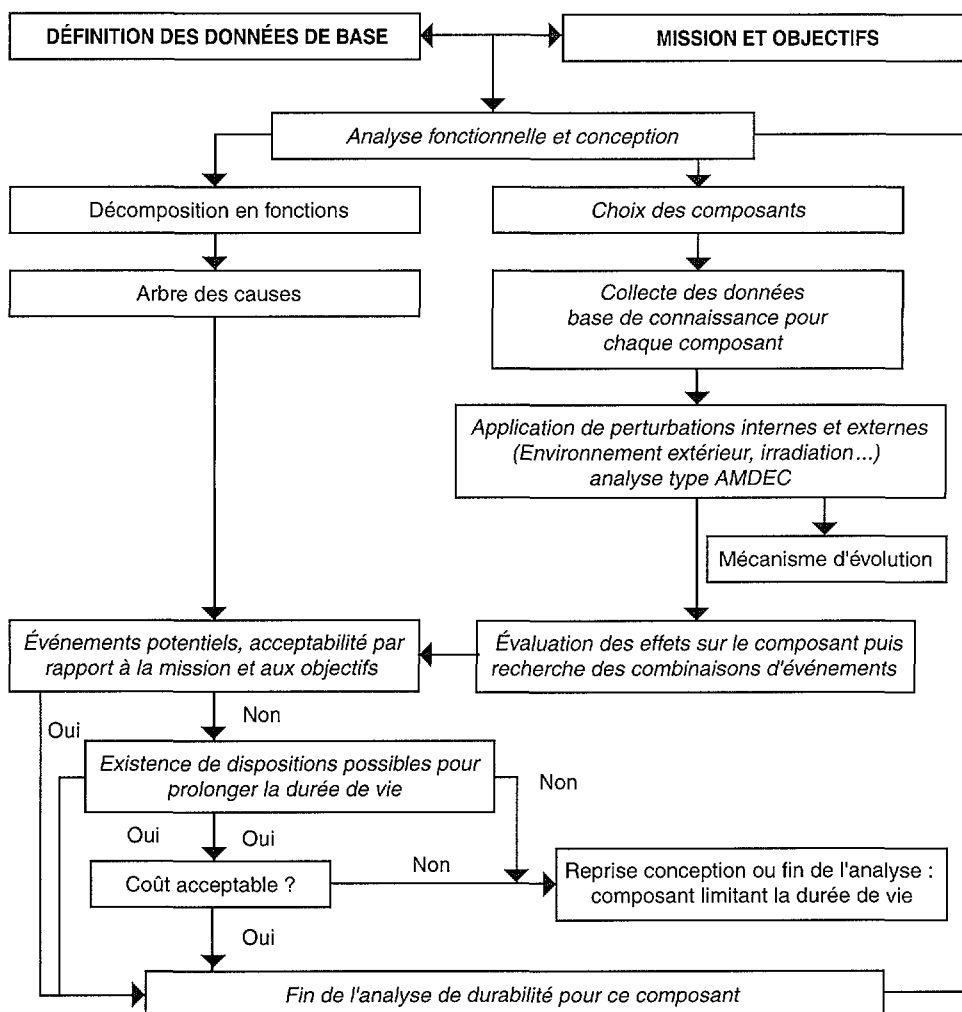
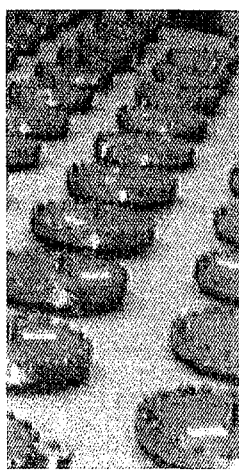


Figure 8 : Logigramme de l'analyse de durabilité

les problèmes en effectuant une "veille" technologique des différents composants de l'équipement, d'effectuer des études périodiques d'adaptation possible en fonction de l'évolution des composants et d'avoir une gestion des pièces de rechange (type 2). Par ailleurs, la connaissance de l'environnement industriel est importante,

- pour les perturbations liées à la réglementation, il est nécessaire, par exemple, d'assurer une "veille" technologique du contexte international.

Dans notre cas d'application, l'analyse de durabilité a permis d'identifier des facteurs limitants : par exemple l'évolution des emballages de transport, la tenue du béton, la dégradation de l'acier des puits qui sont autant d'axes de recherches et de développement pour CASCAD.

L'analyse complète de durabilité est synthétisée sur le logigramme figure 8.

h) Synthèse

Le travail, indiqué en italique sur le logigramme figure 8, réalisé sur CASCAD est une approche de type AMDEC avec combinaisons d'événements. Cette analyse permet de sélectionner de façon prospective un certain nombre d'organes ou de sous-ensembles critiques pour la sûreté du système après inventaire des défaillances élémentaires. Cette outil permet également de corriger des défauts potentiels au stade de la conception.

L'approche inductive pratiquée dans l'étude nécessite une connaissance détaillée des composants ce qui est le cas dans l'application CASCAD car l'installation existe. Une approche déductive peut également être utilisée au stade de la conception, nécessitant un niveau de connaissance moindre des composants, il s'agit de la méthode de l'arbre des causes qui apparaît sur le logigramme figure 8. Cette méthode a également été mise en œuvre sur CASCAD par une autre équipe du DEC.

Il s'agit d'une méthode déductive qui à partir d'un événement redouté ("échec à l'entreposage") permet d'identifier et de quantifier les différents scénarios qui peuvent lui donner naissance. Les deux approches se complètent et nécessitent préalablement à l'analyse de durabilité une analyse fonctionnelle.

RECOMMANDATIONS POUR UNE INSTALLATION TYPE CASCAD DONT LA DURÉE DE VIE DEPASSERAIT 100 ANS

Un autre aspect de l'étude menée a été de s'écarter du cas CASCAD pour proposer des mesures à prendre en phase de conception

pour réaliser une installation dont la durée de vie dépasserait 100 ans.

Les premières réflexions pour une installation de type CASCAD sont les suivantes :

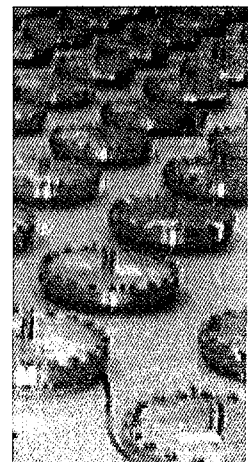
- des puits démontables s'avèrent nécessaires pour examen et changement éventuel,
- une capacité d'entreposage de réserve permet l'accessibilité aux composants de la casemate et apporte une sécurité si l'intégrité des puits n'est pas assurée sur 100 ans,
- la présence d'une cellule de re-conteneurisation garantit une certaine autonomie de l'installation et limite ses liens avec le monde extérieur,
- des moyens d'inspection de l'intérieur de la cellule d'entreposage sont à prévoir afin de contrôler notamment la tenue du béton et des puits,
- un système de secours du pont maintenant les conteneurs est nécessaire (secours manuel par exemple),
- le choix d'équipements électriques ou électroniques "durcis" ou compatibles avec le domaine de température de fonctionnement enveloppe ou à défaut le maintien d'une climatisation des locaux doit être retenu.

CONCLUSION

Le travail d'analyse de la durabilité réalisé sur l'installation CASCAD dans le cadre de son retour d'expérience apporte :

- une méthode d'analyse tirée des méthodes de la sûreté de fonctionnement et de la maintenance (notamment des AMDEC),
- une décomposition fonctionnelle de CASCAD qui permet d'obtenir une base de connaissance des composants de l'installation. Ceux-ci sont caractérisés par des paramètres dimensionnants qui sont la connaissance minimale pour définir cette installation,
- une justification de tous les choix de dimensionnement de CASCAD par la prise en compte des contraintes de conception,
- l'identification des barrières qui s'opposent à la progression de perturbations choisies,
- des informations sur les composants et les paramètres sensibles en terme de durée de vie, organes critiques qui concernent notamment les domaines où la connaissance est limitée: évolution du béton et de l'acier dans le temps.

Une réévaluation est nécessaire périodiquement, par exemple, tous les 10 ans ou lors d'apparition d'événements particuliers. La démarche nécessite d'être conduite dès les premières années de fonctionnement pour engager au plus tôt les modifications à réaliser pour éviter que des composants limitent directement la durée de vie de



l'installation. La mise en oeuvre de ces actions engage des ressources financières qui sont souvent importantes créant de ce fait des décisions d'ordre économique où il faut évaluer les dépenses liées à la poursuite du fonctionnement par rapport au coût des moyens de substitution : la rentabilité économique sert d'arbitre aux différents choix.

Dans le cas de CASCAD, le chiffrage de l'ensemble des dispositions identifiées pour prolonger la durée de vie est en cours permettant ainsi de disposer des éléments de décision.

REMERCIEMENTS

Nous remercions ici chaleureusement l'équipe de Mlle MISSENERD (SGN) pour sa contribution aux travaux présentés ci-dessus.

RÉFÉRENCES

- [1] *HABOG : a new multi-purpose, safe and economic storage facility for COVRA in the Netherland*
BACH EA., GATTEGNO R.
COVRA, Spanjeweg 1,
4380 AE-VLISSINGEN,
The Netherland, and SGN,
1 rue des Hérons,
78182 Saint-Quentin-en-Yvelines
cedex France.
- [2] *Dry vault for spent fuel depository Basic Outset, Operating results and Safety of the "CASCAD" plant*
BARDELLE P.
CEA CADARACHE
13108 Saint-Paul-Lez-Durance
cedex France
1994
- [3] *Dossier le vieillissement des installations nucléaires*
Revue de l'autorité de sûreté nucléaire
N°129 Juin 99 "CONTROLE"
- [4] *Principes fondamentaux de sûreté pour les centrales nucléaires*
Rapport du Groupe Consultatif international pour la sûreté nucléaire
Collection Sécurité N°75-INSAG-3
(International Nuclear Safety Advisory Group)
- [5] *Théorie et application de la commande robuste H_{∞}*
Cours 1991,
Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique Rocquencourt (FRANCE)
- [6] Journées Nationales sur la ROBUSTESSE,
31 Août - 1er Septembre 1992,
organisés dans le cadre du GR Automatique du CNRS par le Département d'Etudes et de Recherches en Automatique (DERA) du CERT ONERA
2, avenue Edouard Belin
31055 Toulouse Cedex (FRANCE)
- [7] *Dry storage for spent fuel or high-level waste*
GÉOFFROY J., DOBREMELLE M.
(CEA Saclay),
FABRE JC.
(CEA Marcoule),
BONNET C.
(SGN)
1989 Joint International Waste Management Conference
Kyoto, JAPON
Du 23 au 28/10/89

