



**HAL**  
open science

# Contraintes et solutions permettant aux exploitants nucléaires de disposer d'un référentiel technique unique

Michel Vouille

► **To cite this version:**

Michel Vouille. Contraintes et solutions permettant aux exploitants nucléaires de disposer d'un référentiel technique unique. Autre. 2019. dumas-03385222

**HAL Id: dumas-03385222**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03385222>**

Submitted on 19 Oct 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS

PARIS

---

MEMOIRE

présenté en vue d'obtenir le titre

d'INGENIEUR DIPLOME PAR L'ETAT (IDPE)

SPECIALITE : GENIE INDUSTRIEL

par

Michel VOUILLE

---

CONTRAINTES ET SOLUTIONS PERMETTANT AUX EXPLOITANTS  
NUCLEAIRES DE DISPOSER D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE UNIQUE

Soutenu le (09/10/2019)

---

JURY

PRESIDENT : M. Gilles ROSTAING

MEMBRES : M. Laurent PREVOND

M. Sami HLIOUI

M. Guillaume HERAULT

Mme. Tatiana HAUTECOEUR

## Résumé

### Contraintes et solutions permettant aux exploitants nucléaires de disposer d'un référentiel technique unique

Ce document traite de l'intégration progicielle entre les solutions de gestion du cycle de vie (PLM – Product Life Management) et de gestion des actifs (EAM - Enterprise Asset Management) pour les centrales nucléaires. Comment cette intégration peut être améliorée et optimisée durablement. Cette approche est encouragée par des experts du secteur et conforme au modèle de gestion nucléaire du NEI (SNPM – Standard Nuclear Performance Model), aux directives de l'AIEA et aux recommandations de l'INPO. Elle permet notamment la mise en place d'une structure de gouvernance et d'une culture centrée sur la sûreté nucléaire.

Après avoir revu quelques concepts clés autour de l'organisation de l'information, de la gestion de la configuration et de la gestion des actifs de l'entreprise. Le document démontrera ensuite les avantages de relier ces applications entre elles afin de créer un référentiel unique de l'information nucléaire en utilisant une approche éprouvée, évolutive, efficace et durable.

## Summary

### Constraints and solutions allowing nuclear operators to have a single technical reference system

This document will discuss how productized integration between Plant Lifecycle Management (PLM) and Enterprise Asset Management (EAM) for nuclear power plants, may be improved, optimized and made sustainable. This approach is supported by leading industry experts and in compliance with the NEI Standard Nuclear Process Model (SNPM), IAEA and INPO guidelines for establishing a governance structure and culture focused on nuclear safety.

After reviewing some key concepts around information organization in nuclear power plants, configuration management and enterprise asset management. The documents will then demonstrate the advantage of connecting theses software together to create a single source of truth for nuclear information using a proven approach that is sustainable, scalable and maintainable.

**Mots clés :** PLM, EAM, Intégration, Nucléaire, SNPM, référentiel unique, données

**Keywords:** PLM, EAM, Integration, Nuclear, SNPM, Single source, Data

## Remerciements

La rédaction d'un mémoire censé résumer en une centaine de pages quelques années de travail n'est pas un exercice facile, mais ce fût pour moi autant un défi, qu'un moment agréable. Cela m'a permis à la fois de raconter l'histoire d'un projet que j'ai vécu comme une aventure et de synthétiser de manière rigoureuse des travaux pour en préparer les prochaines étapes. A ce titre, je me dois d'adresser des remerciements à tous ceux qui m'ont accordé leur confiance, qui m'ont accompagné et soutenu tout au long de ma carrière et plus récemment dans ce projet. Hélas, il va m'être difficile de les citer tous.

En tout premier lieu, je voudrais remercier Pierre Pottier – Président du COBATY Paris Rive Droite de m'avoir convaincu de me lancer dans cette démarche en vue d'obtenir le diplôme d'ingénieur DPE. Je tiens également à remercier particulièrement pour leur soutien et conseils avisés Jean-Claude Philip – Gérant d'ATHIS et Franc Raffalli – Président de SYS E.N.R. tous les deux Ingénieurs DPE.

Je tiens aussi à exprimer ma reconnaissance à mes directeurs successifs Stephen Deskevich et Thomas Trepanier qui m'ont soutenu et guidé pendant ce projet depuis presque six ans. Ils m'ont fait bénéficier de leur expertise des systèmes d'informations complexes et de leur expérience industrielle nucléaire. Un grand merci également à mes collègues de travail Allen, Miguel, Ousmane, Philippe, Thierry, Olivier qui m'ont imprégné de leur culture d'ingénieur et que j'ai abondamment sollicité pour discuter, tester et valider certaines de mes options et hypothèses de travail.

Je terminerai avec une pensée particulière pour ma famille, mon épouse Sylvie pour son incommensurable patience et son soutien sans limites. Mon frère Pascal qui est pour moi un modèle de la démarche d'analyse technique et scientifique ainsi que mes parents et mes enfants qui n'ont jamais cessé de croire en moi.

## Plan du mémoire

Remerciements	3
Plan du mémoire	4
Introduction	6
Chapitre 1 Etat des Lieux et contexte du Nucléaire	9
1 La situation actuelle de la production d'électricité nucléaire	9
1.1 Les types de réacteurs	10
1.2 La production d'électricité nucléaire en chiffres	14
1.3 Les autorités nucléaires et associations	17
2 La perception du public	20
3 Le réchauffement climatique	23
3.1 Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat	23
4 Contribution du nucléaire au mix énergétique	25
4.1 La programmation pluriannuelle de l'énergie 2018	25
4.2 Les propositions de la SFEN	26
4.3 Les propositions du MIT 2018	26
5 Les organisations écologiques	27
Chapitre 2 Présentation du projet objet du mémoire	30
6 Le contexte du projet	30
7 Méthode et structure du projet	32
7.1 Méthodologie du projet	33
7.2 Planning et gouvernance du projet	36
8 Présentation de l'entreprise et des outils	38
8.1 ABB Enterprise Software	38
8.2 Gestion d'actifs de l'entreprise (Enterprise Asset Managent - EAM)	39
8.3 Gestion du cycle de vie (Plant Life Management - PLM)	39
Chapitre 3 Réalisation du projet	41
9 Etats des lieux du nucléaire et de son système d'information	41
9.1 Les organisations type d'une centrale nucléaire	41
9.2 Les processus de construction	42
9.3 Les normes et standards applicables au nucléaire	43
9.4 Etude des systèmes d'information existant	45
10 Les défis du nucléaire civil	51
10.1 Volatilité des prix de l'électricité et de l'énergie	51

10.2	Coûts d'exploitation, coûts de maintenance, investissement en capital	52
10.3	Contraintes politiques et réglementaires	53
10.4	Synthèse et recommandations	54
11	Contribution du SI dans la performance nucléaire	56
11.1	Le point d vue du MIT pour optimiser le nucléaire	56
11.2	Les enjeux stratégiques d'un SI nucléaire intégré (SII)	58
11.3	Les enjeux tactiques d'un SI nucléaire intégré	67
12	Définition des cas d'usages pour le SI nucléaire	73
12.1	Les hypothèses	74
12.2	Synthèse des cas d'usages	75
13	Vérification de la faisabilité du projet	78
13.1	Définir l'approche commerciale et les cibles	78
14	Définition des processus cibles	79
14.1	Représenter les processus métiers du nucléaire	79
14.2	Définir les interactions entre PLM et EAM	81
14.3	Résumé de l'approche générale	83
15	Résultats et solutions préconisées	86
15.1	Avantages de la vision intégrée pour le propriétaire et l'exploitant	86
15.2	Autres avantages de la vision intégrée	89
16	Conclusion – Bilan	90
17	Conclusions personnelles et perspectives	93
	Références et bibliographie	96
	Bibliographie	96
	Liste des Figures	98
	Liste des tableaux	99
	Glossaire & abréviations	100
	Les annexes	102
	PLM-EAM INTEGRATION BUSINESS CASES	103
	ABB NUCLEAR SOLUTION	123

## Introduction

Après s'être développée dans beaucoup de pays industrialisés, l'industrie nucléaire doit maintenant se réinventer pour faire face à l'ouverture des marchés de l'électricité et la dérégulation des prix de l'électricité. Elle doit en particulier maîtriser son cycle de vie complet, de la conception des installations<sup>1</sup> à leur démantèlement, dans le respect des plus hautes exigences de sûreté nucléaire. L'évolution des systèmes d'informations contribue à faire évoluer le modèle de gestion des centrales nucléaires. L'objectif principal du système d'information est de mettre à disposition des utilisateurs des informations et des données leur permettant de prendre les décisions nécessaires au déroulement des processus de travail qui leurs sont confiés. Le système d'information répond aux attentes des organisations des centrales nucléaires, comme de celles des entreprises en générale, sur plusieurs axes :

- Un axe collaboratif permettant le partage des informations entre les acteurs
- Un axe vertical assurant le contrôle du déroulement des processus et des résultats
- Et un axe d'aide à la décision et déroulement des processus complexes

L'industrie nucléaire s'est appuyée très tôt sur l'informatique pour l'aider à gérer les considérables volumes d'informations à traiter. Depuis le milieu des années 1980, les exploitants des centrales nucléaires se sont orientés vers la consolidation de leurs outils et systèmes d'informations dans les progiciels de Gestion Intégrée (ERP)<sup>2</sup>. En particulier en regroupant de nombreuses fonctions disparates comme la maintenance, la chaîne d'approvisionnement, la gestion financière, etc...

Vers le début des années 2000, des applications spécialisées ont commencé à apparaître, comblant les lacunes perçues dans les ERP avec des fonctionnalités ciblées pour des domaines spécifiques (ingénierie, sûreté de fonctionnement, fiabilité...). Ces produits, appelés en anglais « Best-of-breed solutions », désignent les solutions « haut de gamme », très détaillées et spécialisées dans un domaine très précis. Parfois, le système d'information est complété par des « logiciels maison » conçus par les exploitants de centrales nucléaires, lorsqu'ils n'ont pas trouvé de solutions disponibles sur le marché. Ces solutions « haut de gamme » et les

---

<sup>1</sup> Désigne les équipements, systèmes et infrastructures de la centrale nucléaire

<sup>2</sup> Enterprise Resource Planning - Progiciel de Gestion Intégrée

applications (maison) sont généralement des applications « métiers » qui répondent à un processus particulier en assurant la mesure et le contrôle par le management, en opposition aux ERP qui sont considérés comme des applications « de support ». Comme d'autres industries à forte concentration d'équipements, les centrales nucléaires de production d'électricité ont déployé, à plus ou moins grande échelle, ces suites de logiciels spécialisés pour répondre d'une part à leurs besoins de gestion et d'autre part aux pratiques des organisations du nucléaire.

Cela a entraîné trois problèmes majeurs pour les propriétaires de centrales nucléaires :

- La durée de vie de la plupart de ces solutions spécialisées (environ 15 ans) est plus courte que la durée de vie des installations qu'elles supportent (50-80 ans),
- La gestion, l'exploitation et la maintenance des intégrations logicielles est un énorme défi pour cette industrie dont la vocation première est de produire de l'électricité dans les meilleures conditions de sûreté et de coûts,
- Lorsqu'il est impossible de construire des interfaces permettant l'échange de données entre des applications spécialisées, l'efficacité des processus métiers en est impactée négativement.

Ce mémoire expose les enjeux et les contraintes de l'intégration progicielle pour les centrales nucléaires, en particulier entre les solutions PLM<sup>3</sup> de gestion du cycle de vie utilisées principalement par les départements de l'engineering et les outils d'EAM<sup>4</sup> à destination de la production et de la maintenance qui regroupent les applications de gestion des installations ou de gestion de l'activité.

Cette approche est encouragée par des experts du secteur et est scrupuleusement conforme au modèle de gestion nucléaire du NEI<sup>5</sup>, aux directives de l'AIEA<sup>6</sup> et aux recommandations de l'INPO<sup>7</sup>. Elle permet notamment la mise en place d'une structure de gouvernance et d'une culture centrée sur la sûreté nucléaire.

---

<sup>3</sup> PLM – Product Life Management ou Plant Life Management dans le cas de l'industrie nucléaire.

<sup>4</sup> EAM – Enterprise Asset Management ou en français Gestion des actifs industriels, connu également dans sa version simplifiée par GMAO – Gestion de Maintenance Assisté par Ordinateur.

<sup>5</sup> NEI – Nuclear Energy Institute – association d'industriels du nucléaire américain.

<sup>6</sup> AIEA – Agence Internationale de l'Energie Atomique, instance de l'ONU siégeant à Vienne - Autriche

<sup>7</sup> INPO – Institute of Nuclear Power Operations – association des exploitants nucléaires – Atlanta - USA

Pour faire cette étude, j'ai dû faire un état des lieux du nucléaire et des expériences similaires engagées par les constructeurs de centrales nucléaires, les grands exploitants de centrales ou d'autres industries ayant des caractéristiques similaires.

Au premier chapitre, je présente, un état des lieux du nucléaire, de son environnement réglementaire, technique et économique.

Au deuxième chapitre, j'aborde le contexte du projet, les acteurs, les ressources du projet et les raisons de s'engager dans la démarche. J'y présente également la démarche utilisée pour étudier les besoins et identifier des solutions potentielles permettant d'optimiser durablement l'intégration des deux piliers logiciels que sont le PLM et l'EAM.

Le troisième chapitre est dédié au projet, son déroulement, ses livrables, les premiers constats et conclusions. J'évoquerai les composants des systèmes d'informations des centrales nucléaires, mais je ne détaillerai pas volontairement les aspects périphériques ou trop techniques comme par exemple les technologies informatiques et protocoles de communications entre applications.

Pour des raisons de confidentialité, je présenterai uniquement la version conceptuelle des résultats, des flux d'informations entre les domaines de l'engineering et de la maintenance ainsi que les processus métiers, objet de l'intégration entre PLM et EAM.

La majorité des sources utilisées font référence à des publications d'organismes internationaux dont la liste est indiquée au chapitre « Références ». L'autre source d'informations utilisée pour ce mémoire est le résultat de travaux personnels, présentations ou réponses à des appels-d'offres au cours des 5 dernières années (rédigés en anglais pour la plupart) et complétés par les connaissances acquises par ABB dans le domaine de l'intégration logicielle pour l'industrie nucléaire depuis 30 ans.

Les études, présentations non confidentielles nécessaires à la lecture de ce mémoire, ont été ajoutées en annexe au dernier chapitre.

# Chapitre 1 Etat des Lieux et contexte du Nucléaire

---

A l'occasion de ce chapitre, j'ai voulu présenter au lecteur un état des lieux de la production d'électricité nucléaire en termes simples et accessibles à tous. Au cours des paragraphes suivants, le lecteur pourra appréhender la part de marché du nucléaire dans le monde et les principaux acteurs et organismes du nucléaire que j'ai d'ailleurs utilisé comme source d'information dans le projet et source de ce mémoire. Le lecteur disposera également des informations lui permettant de comprendre la contribution potentielle du nucléaire pour ralentir le réchauffement climatique ; à lui d'en tirer ses propres conclusions.

## 1 La situation actuelle de la production d'électricité nucléaire

Les premiers pas du nucléaire ont commencé le 2 déc. 1942, date de la première divergence<sup>8</sup> du réacteur nucléaire expérimental « Chicago Pile-1 ». Ce réacteur a été conçu par une équipe de scientifiques piloté par Enrico Fermi [ Nyer et Agnew 2012 ]. Il fut suivi par les premiers réacteurs de production d'électricité « Obninsk-1 » (réacteur de 5MW – Russie, 1954) et « Calder-Hall1 » (réacteur de 49MW – Grande Bretagne, 1956). Selon la base de données AIEA<sup>9</sup> [ AIEA 2019.a ], 997 réacteurs ont été construits ou sont en cours de construction dans le monde, y compris les réacteurs arrêtés ou démantelés depuis des décennies. L'industrie nucléaire s'est enrichie de ses succès, erreurs et incidents dont les trois plus importants accidents nucléaires :

- Le 28 mars 1979, Three Miles Island-2, accident INES<sup>10</sup> 5 entraînant la fusion partielle du réacteur PWR avec un dégagement faible dans l'environnement,
- Le 26 avril 1986, Tchernobyl-4 accident majeur INES 7 avec fusion du réacteur RBMK et très forte contamination,
- Le 11 mars 2011, Fukushima-Daïtchi 1-3, accident majeur avec fusion partielle des réacteurs BWR et très forte contamination.

---

<sup>8</sup> Divergence - Démarrage du processus de réaction en chaîne dans un réacteur

<sup>9</sup> Agence Internationale de l'Energie Atomique – Instance de l'Organisation des Nations Unies (ONU)

<sup>10</sup> International Nuclear Events Scale – échelle de mesure des accidents nucléaires graduée de 0 à 7

L'industrie de la production d'électricité est en pleine mutation, avec la prise en compte croissante par les gouvernements et les populations des impacts du réchauffement climatique, mais aussi d'un contexte géopolitique et sécuritaire qui fait peser de nouveaux risques sur toutes les infrastructures sensibles. Dans ce contexte, les exploitants de centrales nucléaires doivent évoluer et répondre à de nouveaux défis :

- Faire croître l'acceptabilité du nucléaire auprès du grand public,
- Renforcer l'attractivité de l'industrie nucléaire pour des recrutements de qualité,
- Proposer des solutions pérennes pour la gestion du combustible et des déchets,
- Optimiser le coût du nucléaire neuf et permettre la modulation de la production,
- Etendre la durée de vie des centrales nucléaires et optimiser le coût de maintenance des centrales en exploitation.

## 1.1 Les types de réacteurs

L'industrie nucléaire s'est développée et s'est améliorée au cours des 70 dernières années et commence à concevoir une nouvelle génération de réacteurs. Selon la World Nuclear Association [ WNA 2018 ], la première génération de réacteurs a été construite entre 1950 et 1960. Aucun réacteur de cette génération n'est encore en exploitation à ce jour. La deuxième génération correspond en grande majorité aux réacteurs construits aux Etats-Unis et en France et dans quelques autres pays entre 1960 et 1990. Pour la plupart, ils sont encore en exploitation.

Il existe à ce jour 5 grandes familles de réacteurs différenciées par les combustibles utilisés (le caloporteur<sup>11</sup> et le modérateur<sup>12</sup>) qui ralentissent la réaction nucléaire. Comme toutes les autres centrales thermiques, les réacteurs nucléaires génèrent de la chaleur, ce qui fait chauffer ou bouillir le caloporteur pour produire de la vapeur qui alimente les turbogénérateurs. Dans un réacteur nucléaire, la chaleur est le produit de la fission nucléaire. La réaction nucléaire est contrôlée par l'utilisation de barres de contrôle qui sont insérées dans le cœur du réacteur pour ralentir ou arrêter la réaction en absorbant les neutrons.

---

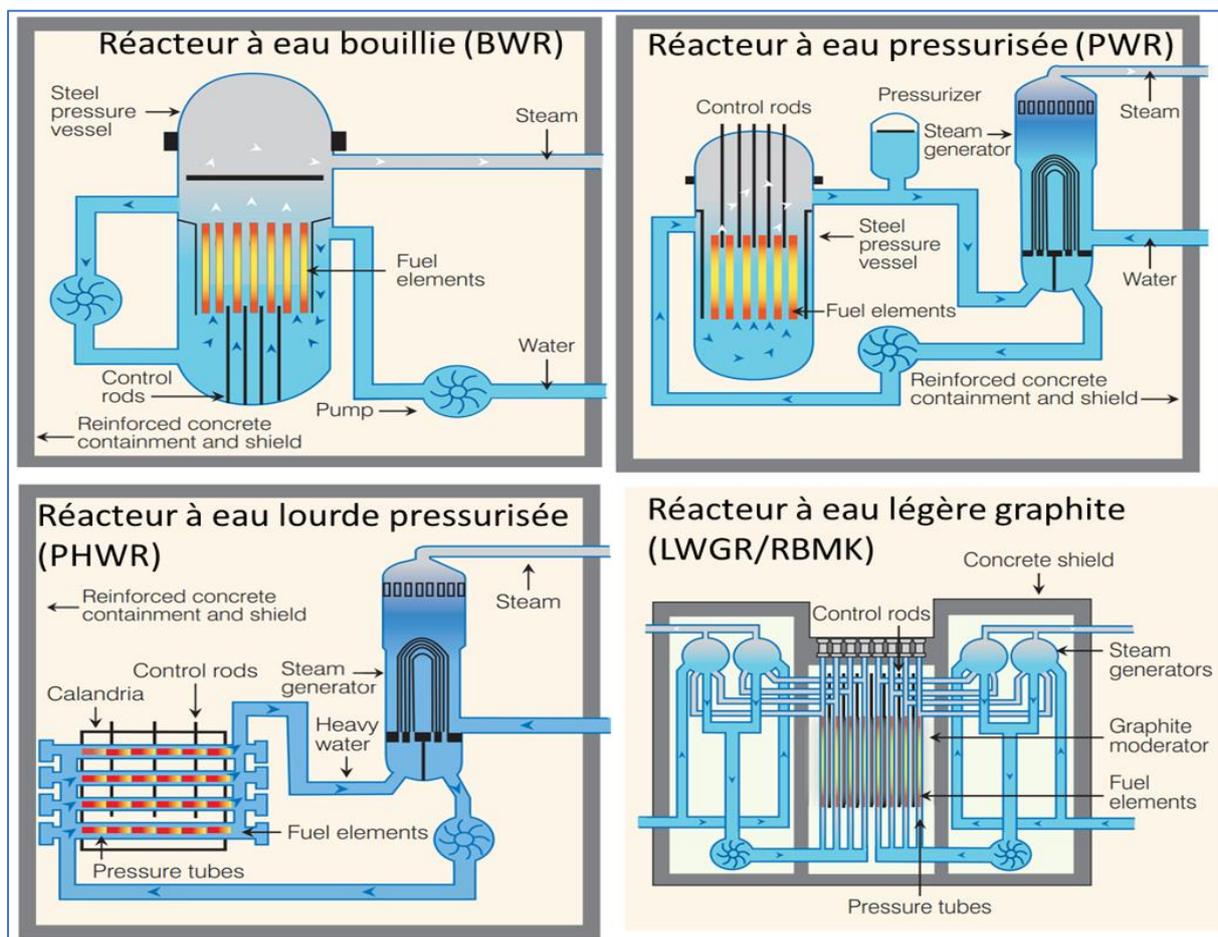
<sup>11</sup> Fluide de refroidissement et transport de chaleur

<sup>12</sup> Matériau destiné à ralentir les neutrons issus de la fission

Dans les réacteurs à eau bouillie et réacteurs à eau pressurisée, l'eau (H<sub>2</sub>O) est utilisée comme caloporteur et modérateur. Les réacteurs à eau lourde sous pression utilisent de l'eau lourde (oxyde de deutérium, D<sub>2</sub>O) comme modérateur.

### 1.1.1 Les principaux types de réacteurs

Depuis les années 1950, l'industrie a testé et amélioré différents types de réacteurs développés par des industriels dans différents pays en fonction de la disponibilité du combustible et du marché auquel ils s'adressaient. La figure 1 extraite du panorama des réacteurs [ WNA 2018 ] représente ces différentes technologies.



Source : World Nuclear Association 2018

Figure 1 - Les principaux types de réacteurs en exploitation dans le monde

#### Lexique :

Calandria /	Calandre	Pressurizer /	Pressuriseur
Concrete shield /	Bouclier de béton	Pump /	Pompe
Control rods /	Barres de commande	Reinforced concrete containment & shield /	Enceinte de confinement renforcé en béton armé
Fuel elements /	Éléments combustibles	Steam /	Vapeur
Graphite moderator /	Modérateur en graphite	Steam generator /	Générateur de vapeur
Heavy water /	Eau lourde	Steel pressure vessel /	Cuve du réacteur en acier
Pressure tubes /	Tubes de force sous pression		

### **Réacteurs à eau pressurisée (pressurized heavy water reactors - PWR)**

La chaleur est transférée du circuit primaire de refroidissement, maintenu sous haute pression dans un état liquide, à un échangeur (générateur de vapeur) vers un circuit secondaire qui passe ensuite par la turbine pour produire de l'électricité. C'est le plus répandu dans le monde, environ 65% des réacteurs en exploitation. L'eau sous pression est utilisée pour faire l'échange de chaleur et ralentir le cœur du réacteur. Le combustible utilisé est de l'uranium enrichi. En France, tous les réacteurs en exploitation sont de ce type. Le premier réacteur PWR commercial a été construit par l'américain Westinghouse en 1957 dans l'Ohio.

### **Réacteurs à eau bouillante (Boiling water reactors - BWR)**

C'est une variante assez proche du PWR à la différence que la chaleur est produite directement en faisant bouillir l'eau du liquide de refroidissement. La vapeur est séparée de l'eau restante dans des séparateurs de vapeur positionnés au-dessus du cœur, puis envoyée aux turbines, pour y être condensée et recyclée. Ce type de réacteur représente 16% du parc mondial. Le premier réacteur BWR commercial a été conçu par General Electric à Dresden dans l'Ohio en 1955.

### **Réacteurs à eau lourde (Pressurized heavy water reactors - PHWR/CANDU)**

Dans ce type de réacteur, les grappes de combustibles sont disposées dans des tubes sous pression refroidis individuellement. Ces tubes sont situés dans un grand réservoir appelé calandre contenant le modérateur à eau lourde. L'eau lourde sous pression est à la fois le caloporteur et le modérateur. C'est une eau constituée de molécules d'eau dont l'atome d'hydrogène est un atome de deutérium (isotope lourd de l'hydrogène). Le combustible utilisé est de l'uranium naturel. Conçu par Atomic Energy of Canada Ltd (AECL) dans l'Ontario, cette technologie est assez peu développée sur le marché avec seulement 10% des réacteurs.

### **Réacteurs caloporteur gaz (gas-cooled reactors - CGR)**

Dans les réacteurs à refroidissement par gaz et les AGR (advanced gas-cooled reactors), le dioxyde de carbone est utilisé comme fluide de refroidissement et le graphite comme modérateur. Ils fonctionnent à l'uranium naturel (dans les GCR) ou de l'uranium très faiblement enrichi (dans l'AGR). Cette technologie, conçue par MAGNOX, a principalement été déployée entre 1955 et 1980 au Royaume-Uni.

Dans sa variante russe, le réacteur LWGR (light water graphite reactor /réacteur à eau légère graphite) a un combustible enrichi dans des tubes à pression avec un liquide de refroidissement à eau légère. Ceux-ci sont entourés par le modérateur en graphite. Généralement appelé le RBMK (connu sous le nom de réacteur Tchernobyl). Il reste à ce jour 13 réacteurs RBMK en exploitation en Russie et 14 CGR sont en exploitation au Royaume-Uni selon la base de données PRIS<sup>13</sup> [ AIEA 2019.b ]

### Réacteurs à neutrons rapides (fast breeder reactors - FBR)

Leur particularité est que le combustible est un mélange d'oxyde de plutonium et d'uranium ; aucun modérateur n'est utilisé. Le noyau est généralement entouré d'une couche d'uranium-238. Les neutrons qui s'échappent du noyau sont absorbés par la couverture, produisant davantage de plutonium, qui est séparé lors du retraitement ultérieur pour être utilisé comme combustible. Les FBR utilisent normalement un métal liquide, tel que le sodium, comme liquide de refroidissement à basse pression.

#### 1.1.2 Les autres types de réacteurs à fission nucléaire

Les réacteurs de 3<sup>ème</sup> génération (ou III+), toujours à fission nucléaire, ne représentent pas un changement radical de technologie ou une prise en compte de nouvelles exigences. Ils correspondent plutôt à une évolution de la 2<sup>ème</sup> génération de réacteurs avec prise en compte partielle de contraintes ou de concepts ci-dessous :

- Modification du combustible utilisé ou dans le cycle du combustible,
- Mise en œuvre de sûreté passive permettant l'arrêt du réacteur sans énergie,
- Résistance aux risques naturels et terrorismes,
- Plus grande flexibilité de la production avec maintenance réacteur en marche.

Dans cette catégorie de réacteurs de 3<sup>ème</sup> génération, on trouvera par exemple : EPR de AREVA / Framatome (2 sur 4 en exploitation) ; ABWR de Général Electric-Hitachi (1 réacteur en exploitation) et APR1400 de Korean Hydro Nuclear Power (4 réacteurs en exploitation).

Auxquels il faut ajouter les petits réacteurs modulaires (Small Modular Reactor- SMR selon la définition de l'AIEA) comme l'ATMEA, ASTRID, PRISM, SMART<sup>14</sup>...

---

<sup>13</sup> PRIS – Power Reactor Information System / Système d'information de l'AIEA

<sup>14</sup> ATMEA de EDF-Mitsubishi, ASTRID du CEA, PRISM de GE-Hitachi, SMART de KHNPC

La 4<sup>ème</sup> génération de réacteurs à fission en est au stade de la recherche et du financement. Toujours selon le WNA [ WNA 2018 ], 13 pays, dont la France, ont mis en commun leurs ressources pour concevoir un réacteur avec un combustible fermé répondant aux meilleures exigences de sûreté, de production et de coût.

### 1.1.3 [Les réacteurs à fusion nucléaire](#)

Le principe de ces réacteurs est de reproduire à échelle réduite la réaction du soleil, c'est-à-dire la fusion du combustible (hydrogène) à très haute température (environ 50 Million de °C) et de conserver cette réaction stable. Si plusieurs prototypes ont déjà été testés en laboratoire pour envisager une exploitation industrielle, un essai grandeur réelle était nécessaire. C'est le programme ITER<sup>15</sup>. L'avantage de cette technologie est la disponibilité infinie du combustible et la quasi absence de déchets à retraiter. Le programme ITER prêt de Cadarache - France, commencé en 2005, est en bonne voie pour produire le premier plasma en 2025, d'après un communiqué de presse d'ITER du 21 juin 2018 [ ITER 2018 ]. Ce réacteur ne produira pas d'électricité mais si les tests sont concluants, on pourrait espérer pouvoir industrialiser cette technologie vers 2100.

## 1.2 La production d'électricité nucléaire en chiffres

### 1.2.1 [Les réacteurs en exploitation](#)

Au 1<sup>er</sup> Juillet 2018, l'AIEA comptabilisait 445 réacteurs ayant une licence d'exploitation délivrée par les autorités nucléaires locales et internationales, dont 413 réacteurs nucléaires de production d'électricité ou de chaleur étaient en exploitation dans 31 pays et 32 réacteurs en « arrêt de longue durée » – dont 26 au Japon faisant suite à l'accident de Fukushima. 10 réacteurs ont été connectés au réseau d'électricité par rapport à juillet 2017. La figure 2 ci-dessous, extraite du rapport « The World Nuclear Industry status report 2018 » [ Schneider 2018 ] montre que l'âge moyen des réacteurs en exploitation dans le monde est de 30 ans. Schneider M. indique également que la capacité mondiale de production nucléaire a augmenté de 3,4% après une baisse significative en 2011 pour atteindre 363 GW (Puissance nette d'électricité produite).

---

<sup>15</sup> International Thermonuclear Experimental Reactor - Réacteur thermonucléaire expérimental international

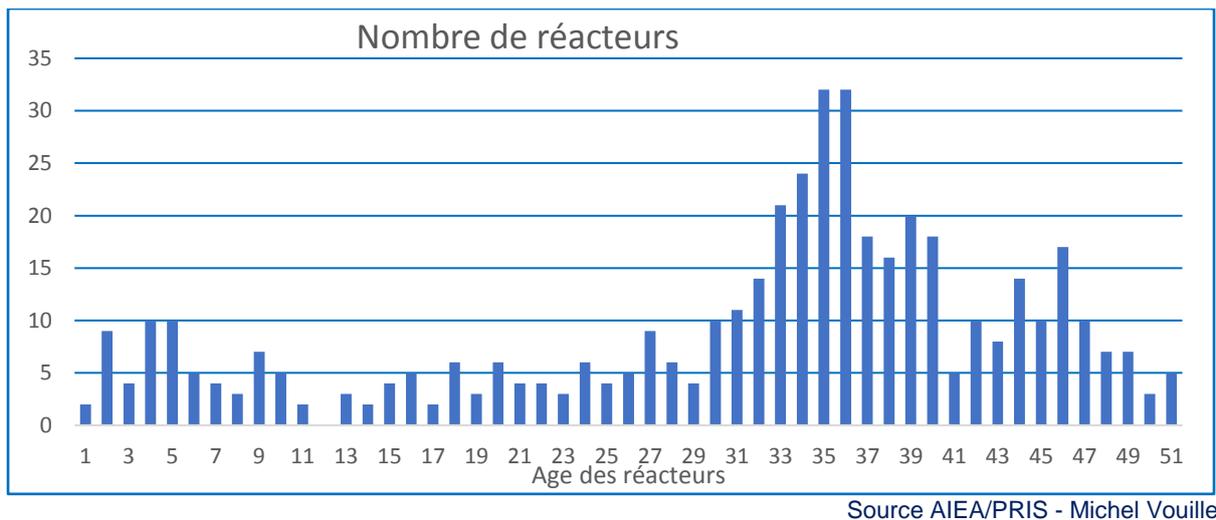


Figure 2 - Age moyen des réacteurs en exploitation

### 1.2.2 [La production d'électricité d'origine nucléaire dans le monde](#)

Toujours dans le même rapport, Schneider M. mentionne qu'en 2017 la production d'électricité nucléaire mondiale était de 2500TWh, ce qui représente une augmentation de 1%, principalement grâce à un accroissement de 18% de la production en Chine. Ceci a permis de compenser la baisse de la production dans le reste du monde depuis 2015. Malgré la forte croissance de la Chine, le nombre de réacteurs en construction dans le monde est en déclin pour la cinquième année consécutive, passant de 68 réacteurs à la fin 2013 à 50 à la mi-2018, dont 16 en Chine [ Schneider 2018 ].

### 1.2.3 [La part du nucléaire dans la production d'électricité](#)

La part du nucléaire dans la production totale d'électricité mondiale est restée globalement stable au cours des cinq années écoulées, avec une tendance à la baisse à long terme, passant de 17,5 % en 1996 à 10,3 % en 2017 [ Schneider 2018 ].

Le tableau i extrait du rapport de ELECNUC Edition 2018 [ CEA 2018 ] montre que les 8 pays (fond gris) les plus gros producteurs d'électricité d'origine nucléaire, représentent 80% de la production nucléaire mondiale. Ils produisent 53% de leur électricité par d'autres sources d'énergie et principalement d'origine fossile. Dans l'Union Européenne (en rouge) la production d'électricité nucléaire représente 22% de la production d'électricité totale, produite par 129 réacteurs dans 14 pays. Ils produisent 31% de l'électricité d'origine nucléaire mondiale alors que la production d'électricité totale Européenne ne représente que 15% de la production mondiale.

Tableau i - Production d'électricité d'origine nucléaire et totale du pays

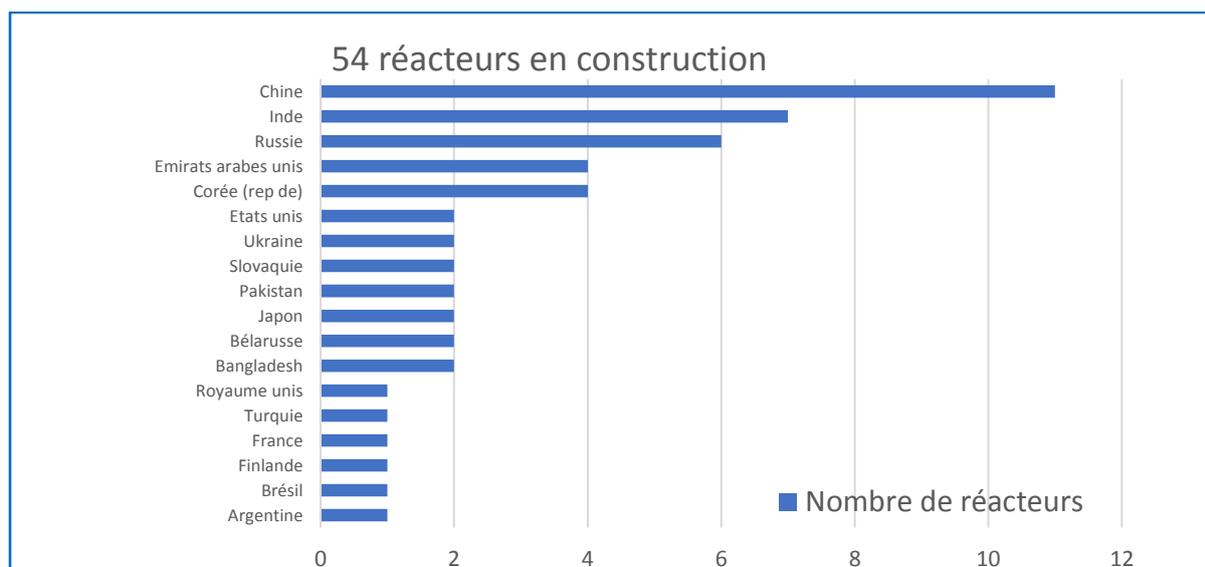
Rang	Pays Situation au 31/12/2017	Réacteurs en exploitation		Electricité produite (nucléaire)		Electricité produite (toutes les sources) <sup>16</sup>		
		Nb de réacteurs	Puissance totale MW(e)	TWh	Cumul TWh / Total	Part du Nucl. %	TWh	Cumul TWh / Total
1	Etats Unis	99	99 952	805,7	32,4%	20	4028,0	16,6%
2	France	58	63 130	381,9	47,7%	71,6	533,2	18,8%
3	Chine	39	34 514	232,8	57,1%	3,9	5969,2	43,4%
4	Russie	35	26 142	190,1	64,7%	17,8	1068,0	47,8%
5	Corée du sud	24	22 494	141,3	70,4%	27,1	521,4	50,0%
6	Canada	19	13 554	95,1	74,2%	14,6	651,4	52,7%
7	Ukraine	15	13 107	80,4	77,5%	55,1	145,9	53,3%
8	Allemagne	7	9 515	72,2	80,4%	11,6	622,4	55,8%
9	Royaume-Uni	15	8 918	63,9	82,9%	19,3	331,1	57,2%
10	Suède	8	8 629	63,1	85,5%	39,6	159,3	57,8%
11	Espagne	7	7 121	55,6	87,7%	21,2	262,3	58,9%
12	Belgique	7	5 918	40,2	89,3%	49,9	80,6	59,3%
13	Inde	22	6 255	29,3	90,5%	3,2	813,9	62,6%
14	Japon	42	39 752	26,8	91,6%	3,6	81,0	62,9%
15	République Tchèque	6	3 930	21,6	92,4%	33,1	65,1	63,2%
16	Taiwan, chine	6	5 052	21,6	93,3%	9,3	232,3	64,2%
17	Finlande	4	2 769	20	94,1%	33,2	625,0	66,7%
18	Suisse	5	3 333	19,6	94,9%	33,4	58,7	67,0%
19	Hongrie	4	1 889	15,2	95,5%	50	30,4	67,1%
20	Afrique du sud	2	1 860	15,1	96,1%	6,7	225,4	68,0%
21	Bulgarie	2	1 926	14,9	96,7%	34,3	551,9	70,3%
22	Brésil	2	1 884	14,9	97,3%	2,7	43,4	70,5%
23	Slovaquie	4	1 814	14	97,9%	54	25,9	70,6%
24	Roumanie	2	1 300	10,6	98,3%	17,7	176,9	71,3%
25	Mexique	2	1 552	10,6	98,7%	6	59,9	71,6%
26	Pakistan	5	1 318	8,1	99,0%	6,2	130,6	72,1%
27	Iran	1	915	6,4	99,3%	2,2	290,9	73,3%
28	Slovénie	1	688	6	99,5%	39,1	15,3	73,4%
29	Argentine	3	1 633	5,7	99,8%	4,5	127,7	73,9%
30	Pays bas	1	482	3,3	99,9%	2,9	113,8	74,4%
31	Arménie	1	375	2,4	100,0%	32,5	7,4	74,4%
<b>Total Pays Nucléaires</b>		<b>448</b>	<b>391 721</b>	<b>2 488</b>	<b>TWh</b>	<b>13,79%</b>	<b>18 048</b>	<b>TWh</b>
<b>Pays non Nucléaires</b>							<b>6 208</b>	<b>TWh</b>
<b>Total Mondial</b>		<b>448</b>	<b>620 360</b>	<b>2 488</b>	<b>TWh</b>	<b>10,26%</b>	<b>24 256</b>	<b>TWh</b>

Source : Elecnucl CEA 2018 sur la base des données PRIS de l'AIEA – situation au 31/12/2017

<sup>16</sup> Valeur réelle 2017 ou estimation de la production totale pour les pays n'ayant pas communiqué leur production en 2017.

### 1.2.4 Les réacteurs en construction dans le monde

Dans son rapport, Schneider M. indique que parmi les 18 pays, indiqués à la figure 3 qui ont engagé la construction de nouveaux réacteurs, au moins 33 d'entre eux subissent un retard de plusieurs années. Les autres n'ont pas communiqué sur l'état d'avancement de leur projet. On peut constater que ces retards se sont aggravés au cours des 5 dernières années pour de multiples raisons [ Schneider 2018 ].



Source AIEA/PRIS Juillet 2019 - Michel Vouille

Figure 3 - Nombre de réacteurs en construction dans le monde

En Finlande la construction par AREVA de l'EPR Olkiluoto-3, initialement attendu en 2009 a été reportée plusieurs fois et est prévue en septembre 2019, soit avec 10 ans de retard. AREVA et l'exploitant TVO17 se sont mutuellement reportés la responsabilité de ces retards notamment pour des non conformités de constructions.

*Note : Il est intéressant de noter que ROSATOM vient d'annoncer un retard de 4 ans pour la construction de son réacteur pour FENNOVOIMA. Il est donc possible que les constructeurs et les exploitants aient sous-estimé les exigences du régulateur Finlandais et du processus de validation des documents soumis à l'autorité de sûreté.*

### 1.3 Les autorités nucléaires et associations

Plusieurs organismes ou institutions interviennent dans la définition des règles applicables aux installations nucléaires civiles et médicales. En principe, ces

<sup>17</sup> TVO - Teollisuuden Voima Oy – consortium de plusieurs sociétés d'électricité Finlandaises

organisations fonctionnent en collaboration étroite au niveau national et international. Mais l'industrie nucléaire doit parfois faire face à des pressions ou arbitrages politiques, tant les enjeux économiques et sécuritaires sont importants.

### 1.3.1 [L'Agence Internationale de l'Energie Atomique \(AIEA\)](#)

L'AIEA est la principale instance intergouvernementale au monde pour la coopération scientifique et technique dans le domaine nucléaire. Elle s'emploie à promouvoir les utilisations sûres, sécurisées et pacifiques de la science et de la technologie nucléaire, et contribue ainsi à la sécurité internationale dans le respect des objectifs de développement durable de l'Organisation des Nations Unies [ AIEA 2019.c ]. La stratégie à moyen terme (sur 6 ans) est élaborée dans le cadre de consultations entre les États Membres. Pour la période 2018-2023, le rapport des réunions préparatoires [ AIEA 2016 ] en définit les objectifs suivants :

- Faciliter et promouvoir l'accès à l'énergie nucléaire et les technologies associées,
- Améliorer la sûreté et la sécurité nucléaire,
- Lutter efficacement contre la prolifération des armes nucléaires,
- Fournir une coopération technique efficace aux acteurs des pays membres.

### 1.3.2 [Les autorités de sûreté nationale](#)

Les autorités de sûreté nucléaire locales assurent, au nom du gouvernement du pays, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection, pour protéger les personnes et l'environnement. Elles ont également la charge d'informer le public, le gouvernement et communiquent avec les autres instances nucléaires. Les autorités locales ont une indépendance totale sur les dossiers qui leurs sont soumis. Elles réglementent la construction, l'exploitation, le démantèlement des installations selon des normes, standards ou recommandations établis et contrôlent les installations nucléaires, le combustible, les déchets et les sources médicales ou industrielles.

*Note : En France, ce rôle est confié à l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) qui collabore avec l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) et la Communauté Européenne de l'Energie Atomique (Euratom).*

### 1.3.3 Les associations et instituts

Au fil du temps et des évènements, plusieurs associations internationales se sont constituées de façon à définir elles-mêmes un cadre de pratiques métier, c'est-à-dire influencer ou informer les gouvernements et les organisations en charge de définir les réglementations applicables au nucléaire.

#### World Association of Nuclear Operators (WANO) <sup>18</sup>

Peu de temps après l'accident de Tchernobyl (Ukraine-1986), la communauté nucléaire internationale a fait le constat qu'un accident dans un pays, quelle qu'en soit la nature, pouvait impacter d'autres pays. En 1989, les exploitants ont décidé de créer l'association des exploitants de centrales nucléaires. Son rôle principal est le partage de l'expérience entre exploitants, ses missions sont les suivantes [ WANO 2018 ] :

- Aider les membres à se comparer aux standards internationaux d'excellence par un examen objectif des méthodes d'exploitation par une équipe indépendante,
- Analyser la performance au travers d'un programme de collecte et d'analyse des données d'exploitation. Il fournit aux membres synthèses et rapports de situation,
- Support aux membres engagés dans une démarche d'amélioration définie pour traiter un écart de performance ou de sûreté identifié lors de la visite des pairs,
- Former les exploitants et développer leur culture de sûreté par le partage de l'expérience internationale.

#### Nuclear Energy Institute (NEI)<sup>19</sup>

Créée en 1994 par la fusion de plusieurs associations et groupes d'expertises, le NEI compte des centaines de membres à travers le monde et, grâce à leur implication, élabore une politique sur les principaux problèmes législatifs et réglementaires touchant le secteur. Le NEI regroupe des sociétés qui possèdent ou exploitent des centrales nucléaires, des concepteurs de réacteurs, des fournisseurs de combustible et des sociétés d'ingénierie et de services. Le NEI encourage les utilisations de la technologie nucléaire et offre une voix unifiée de l'industrie devant le pouvoir exécutif, les régulateurs aux Etats-Unis, ainsi que les organisations internationales sur des questions politiques clés [ NEI 2018.a ].

---

<sup>18</sup> Association mondiale des exploitants de centrales nucléaires (Paris, Moscou, Atlanta, Tokyo, Londres

<sup>19</sup> Institut de l'énergie nucléaire (Etats Unis)

### Institute of Nuclear Power Operator (INPO)<sup>20</sup>

Après l'accident de Three Mile Island, le gouvernement américain a décidé de créer un institut dont la mission est de promouvoir l'excellence dans l'exploitation de centrales nucléaires, notamment par la définition des plus hauts niveaux de sûreté de fonctionnement et de fiabilité. L'INPO, en collaboration avec le NEI, est à l'origine de plusieurs standards appliqués dans la majorité des centrales nucléaires dans le monde. L'INPO établit des objectifs de performance, des critères et des directives pour le secteur de l'énergie nucléaire, en procédant à des évaluations détaillées et régulières des centrales nucléaires et en fournissant une assistance pour aider les exploitants à améliorer continuellement leurs performances [ INPO 2018 ].

### Electric Power Research Institute (EPRI)<sup>21</sup>

L'Institut mène des projets de recherche, de développement et de démonstration dans l'intérêt du public aux États-Unis et dans le monde. En tant qu'organisation indépendante à but non lucratif dédiée à la recherche énergétique et environnementale, l'EPRI se concentre sur la production et l'utilisation de l'électricité en collaboration avec l'industrie et d'autres acteurs [ EPRI 2018 ].

### World Nuclear Association (WNA)<sup>22</sup>

L'association WNA est l'organisation internationale qui représente l'industrie nucléaire mondiale. Sa mission est de promouvoir une information la plus large possible de l'énergie nucléaire à destination des principaux influenceurs internationaux. Sa plateforme de communication et son forum d'échange lui permettent de développer la coopération entre industriels du nucléaire, de fournir une information de qualité et de représenter les intérêts du nucléaire dans les différents débats.

## 2 La perception du public

Chaque année les organismes gouvernementaux interrogent leur population pour évaluer la part d'opinions favorables ou défavorables envers le nucléaire et éventuellement ajuster leur stratégie. Les résultats dépendent de plusieurs facteurs tels que : l'information accessible à la population, l'importance du nucléaire, les

---

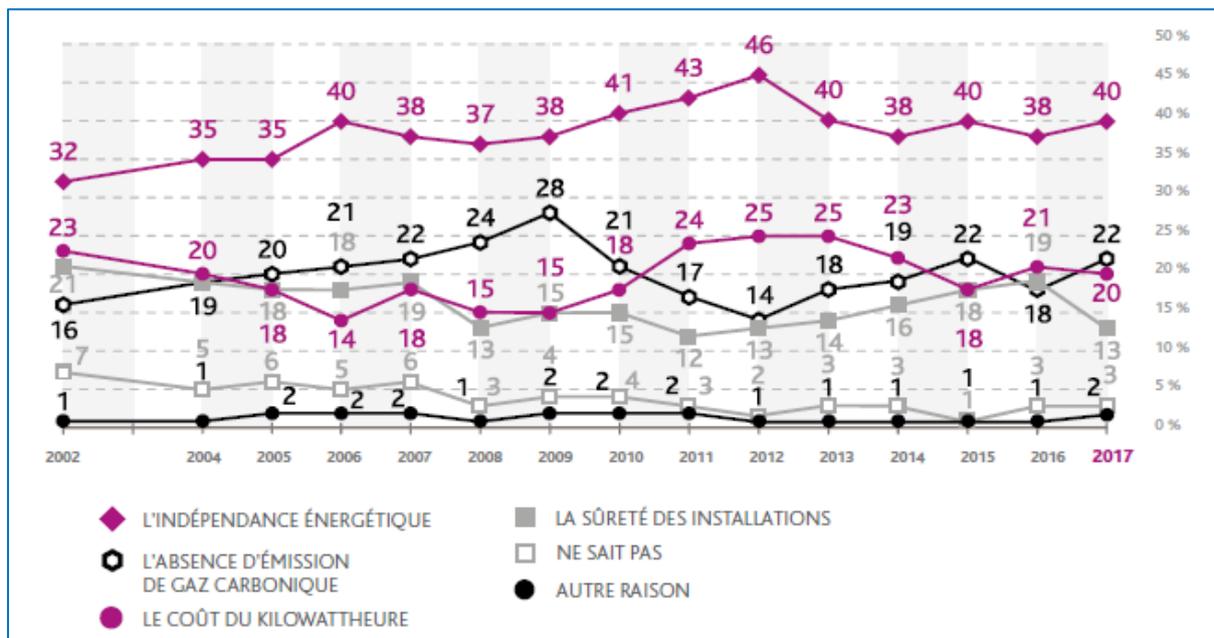
<sup>20</sup> Institut des exploitants de centrales nucléaires (Etats Unis)

<sup>21</sup> Institut de recherche de l'énergie électrique (Etats Unis)

<sup>22</sup> Association Mondiale de l'énergie nucléaire (Etats Unis)

moyens d'expression ou de débat disponibles dans le pays et l'actualité nucléaire. En France, l'IRSN<sup>23</sup> publie une étude sur la perception des risques nucléaires par les français en comparaison avec d'autres risques. Dans son dernier rapport, l'IRSN a interrogé un échantillon de 1000 personnes dans toute la France sur la perception des risques [ IRSN 2018 ]. En conclusion de ce rapport, on peut noter une légère amélioration de la perception des risques nucléaires, mais une méfiance générale envers les autorités, la presse et les médias dans leur ensemble. Les scientifiques et experts restent reconnus pour leurs compétences mais avec une crédibilité en baisse de 50%. Malgré cette perception, les français sont plutôt favorables au nucléaire pour son impact neutre sur le CO<sub>2</sub>, et surtout sur le prix du kilowattheure. Les figures 4 et 5 montrent l'évolution des opinions sur les 15 dernières années dont les arguments en faveur et contre le nucléaire sont résumés ci-après.

En faveur du nucléaire	Contre le nucléaire
L'indépendance énergétique (40%)	Les accidents nucléaires (34%)
L'absence d'émission de GES (22%)	Les déchets radioactifs (24%)
Le cout du kilowattheure (20%)	La vulnérabilité des centrales (24%)

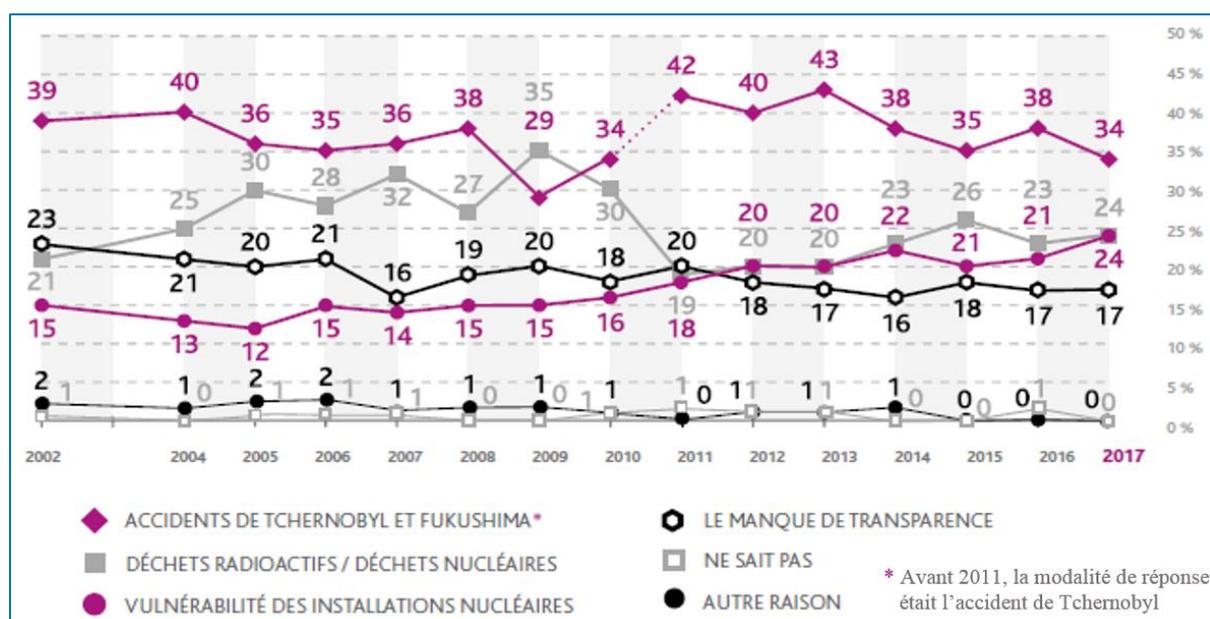


Source IRSN 2018

Figure 4 - Evolution des arguments en faveur du nucléaire

<sup>23</sup> Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire – sous tutelle des ministres de la défense, santé, environnement et de l'énergie.

En ce qui concerne le « potentiel catastrophique » des installations industrielles, les centrales nucléaires représentent le plus grand risque industriel (22%) devant le stockage des déchets radioactifs (17%) et les installations chimiques (14%). C'est le niveau le plus élevé depuis l'accident de Fukushima mais assez stable par rapport à l'année précédente. Au regard de 35 risques présentés couvrant tous les domaines de la santé, de l'environnement, de la sécurité routière, du terrorisme, de l'alimentaire, etc., le nucléaire est en 14<sup>ème</sup> position et 54% des personnes pensent qu'il s'agit d'un risque élevé.



Source IRSN 2018

Figure 5 - Evolution des arguments contre le nucléaire

En revanche, 27% ont confiance dans l'action des autorités et 15% seulement pensent que la vérité est dite concernant les risques et les accidents. Cette posture de méfiance, pour ne pas dire défiance, n'est pas spécifique à l'égard du nucléaire, puisque pour seulement 9 des 35 risques, le panel de personnes a déclaré faire confiance à l'action des autorités à plus de 30%.

Les réponses montrent que les Français sont divisés sur la sûreté nucléaire. 38% pensent que toutes les précautions sont prises pour assurer la sûreté des centrales nucléaires, 31% pensent le contraire. Et 90% sont plutôt en faveur d'actions visant à améliorer la sûreté et à réduire les risques.

### 3 Le réchauffement climatique

Depuis les premiers messages d'alerte sur le réchauffement du climat lancés il y a plus de 40 ans par des scientifiques dans le monde, le principe de l'existence du réchauffement climatique est admis par les gouvernements et les populations. En revanche, les causes de ce réchauffement climatique sont toujours en débat, en particulier sur ses origines, son ampleur et ses impacts à court et moyen terme.

#### Les discussions internationales

Le traité de Rio (1992) marque le premier engagement de 154 pays à mesurer, comprendre et s'engager pour limiter le réchauffement climatique. Ce traité a permis la création de la Conférence des Parties (COP) qui se veut être un organe de décision. Depuis cette première intention, plusieurs conférences majeures ont permis la mise en œuvre des mesures permettant de lutter contre le réchauffement climatique. Je ne citerai que les 3 plus importantes extraites du site web du ministère de l'Europe et des Affaires étrangères : [ FR.Dipl. 2019.b ]

- Le protocole de Kyoto (1997) portant sur la limitation des gaz à effet de serre (GES) des pays signataires à un maximum de +10% par rapport à 1990,
- La COP15 de Copenhague (2009) introduit les moyens juridiques pour forcer les états à agir et limiter le réchauffement de la température à +2°C d'ici 2100,
- Le traité de Paris (2015) signé par 169 pays porte sur la réduction des GES à l'horizon 2025-2030 et la vulnérabilité aux effets des changements climatiques.

#### 3.1 Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

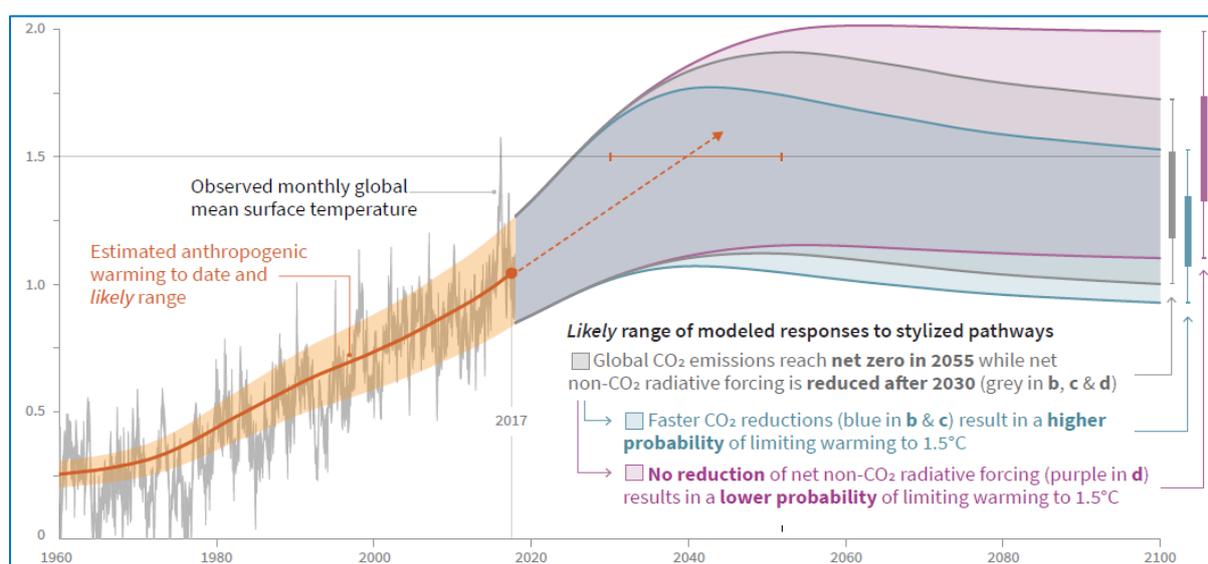
En 1988, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), a été créé par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). Son rôle est d'observer l'évolution du climat, ses causes, mais aussi les possibilités d'atténuer ses effets ou de s'y adapter. Il réunit des experts de 195 pays et publie des informations, synthèses et recommandations dans trois domaines principaux : [ FR.Dipl. 2019.a ]

- Les mécanismes du changement climatique,
- Les impacts du changement climatique et les adaptations possibles,
- Les mesures et perspectives de réduction des émissions de GES.

## Les observations du GIEC 2018

Dans le rapport GIEC du 8 octobre 2018 [ GIEC 2018 ], consacré aux trajectoires d'émissions de GES pour limiter le réchauffement climatique global de 1,5°C et 2°C, le GIEC documente l'urgence climatique et estime qu'il est encore possible de limiter cette hausse à 1,5°C et d'en limiter l'impact humain et environnemental. Le GIEC détaille 3 scénarios et précise les transformations majeures qui devront être mises en œuvre dans les 10 ans à venir, dont les mesures suivantes :

- En 2030, il faudrait que les émissions GES aient baissé de 45% par rapport à leur niveau de 2010 pour arriver à 0 émission nette en 2055<sup>24</sup>
- Puis augmenter la part des énergies renouvelables de 20% à 70% d'ici 2050
- Réduire la consommation électrique



Source GIEC 2018

Figure 6 - Réchauffement climatique les 3 scénarios possibles

La figure 6 extrait du rapport du GIEC [ GIEC 2018 ] montre l'impact des 3 scénarios :

- En orange, l'évolution des températures depuis 1960,
- En mauve, pas de réduction des GES ce qui ne permet pas de limiter la hausse à 1,5°C. Réchauffement possible autour de 2°C,
- En gris, mesures pour limiter le réchauffement à moins de 2°C, les émissions de GES devraient diminuer de 25% en 2030 et atteindre zéro net vers 2070,
- En bleu, mesures pour un réchauffement nul ou limité de 1,5°C, les émissions de GES devraient diminuer de 45% en 2030, pour atteindre zéro net vers 2050.

<sup>24</sup> Par 0 émission nette, il faut entendre que l'on n'émette pas plus de GES que l'on peut en stocker.

## 4 Contribution du nucléaire au mix énergétique

Chaque pays, qu'il soit signataire de la COP21 ou non, est libre de définir les mesures à prendre pour atteindre les objectifs de réduction des GES qu'il aura défini. Les paragraphes suivants présentent différentes positions prises par le Gouvernement et des associations en faveur du nucléaire ainsi qu'une étude récente du MIT<sup>25</sup> qui tente d'apporter une explication sur les difficultés rencontrées par le nucléaire pour se positionner dans le mix énergétique.

### 4.1 La programmation pluriannuelle de l'énergie 2018

En France, les programmations pluriannuelles de l'énergie (PPE) constituent l'outil de pilotage de la politique énergétique et ont été créées par la loi de transition énergétique pour la croissance verte. Le dernier en date vise à définir les objectifs, les priorités et investissements en production d'électricité renouvelable ainsi que les fermetures programmées des sources de production fossile, gaz et nucléaire [ FR.Dipl. 2018 ]. Ce rapport, qui pourra être amendé jusqu'en 2021, représente la stratégie du Gouvernement Français pour garantir l'approvisionnement en énergie de la France.

Pour la production d'électricité, les objectifs les plus impactants sont les suivants :

- Réduction des GES de 14% en 2023 et de 30% en 2028 par rapport à 2016,
- Augmentation de la production d'électricité renouvelable à 74 GW<sup>26</sup> en 2023, soit +50% par rapport à 2017 et 102GW à 113 GW en 2028,
- Fermeture de 4 à 6 réacteurs nucléaires d'ici 2028 dont ceux de Fessenheim,
- Fermeture de 14 réacteurs nucléaires d'ici 2035 pour atteindre 50 % d'électricité nucléaire dans le mix électrique,
- Le projet de PPE précise que la France doit préserver une capacité technologique et industrielle de construction de nouveaux réacteurs nucléaires.

*Note : La fermeture des réacteurs de Fessenheim en 2018 était conditionnée au démarrage de la centrale de Flamanville 3. Mais après l'annonce par EDF d'un retard supplémentaire, il est improbable que cette décision n'intervienne pas avant 2022*

<sup>25</sup> Le Massachusetts Institute of Technology (MIT)

<sup>26</sup> Gigat watt (10<sup>9</sup> watts) correspond à la capacité moyenne d'un réacteur nucléaire en France

## 4.2 Les propositions de la SFEN

Un an avant la publication de la PPE, la Société Française d'Énergie Nucléaire (SFEN) a présenté son livre blanc à l'attention des candidats à l'élection présidentielle. [ SFEN 2017 ]. Elle rappelle que le parc nucléaire construit dans les années 70, a permis à la France de produire son électricité sans émission de CO<sub>2</sub> tout en réduisant sa dépendance aux produits pétroliers. Elle y fait plusieurs propositions en vue d'utiliser les avantages du nucléaire en tant que moyen de production sans GES :

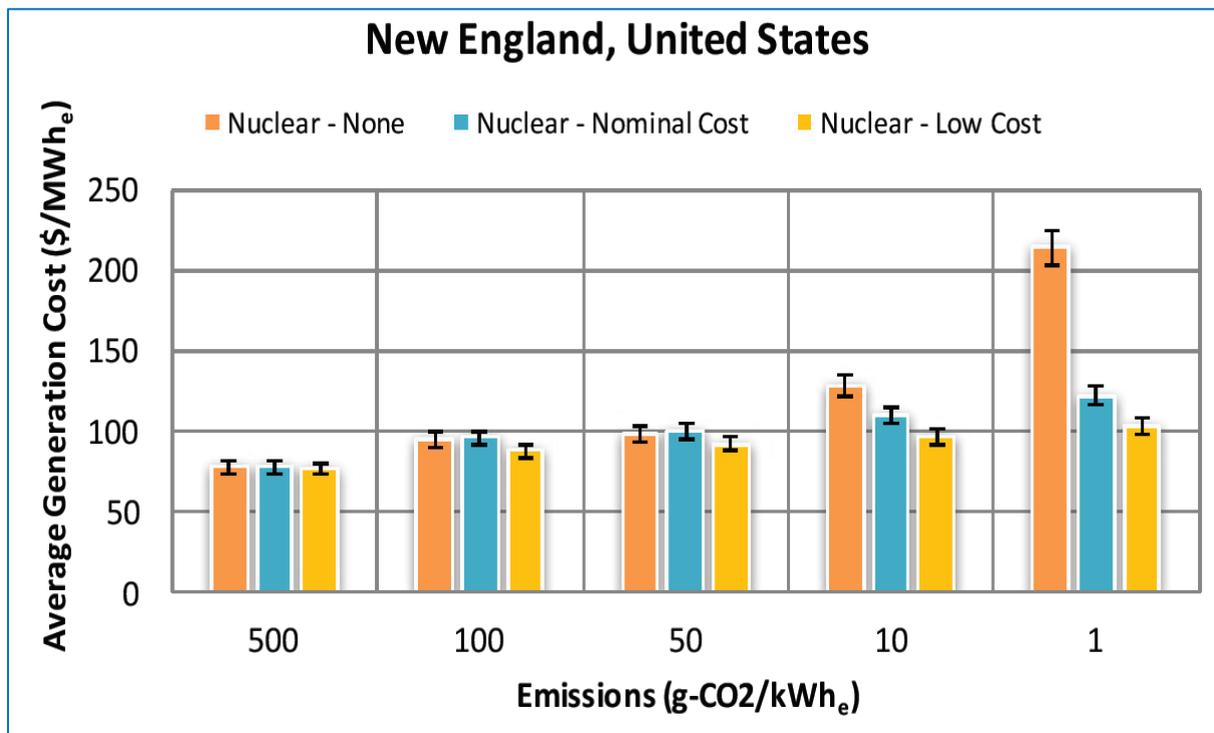
- En développant la mobilité électrique dans le transport qui représente 29% des émissions de CO<sub>2</sub> avec un objectif de 45% de véhicules électriques en 2050,
- En s'affranchissant de la limitation à 50% de la production d'électricité,
- En développant les réseaux de chaleur d'origine nucléaire en plus de la biomasse,
- En utilisant les surproductions des énergies renouvelables et nucléaires pour stocker l'énergie via la transformation électricité-hydrogène-électricité,
- En maintenant les capacités de production nucléaire et en étendant leur durée de vie à 60 ans pour atteindre les objectifs de réduction des GES du GIEC,
- En réaffirmant le cycle du combustible nucléaire fermé qui est retraité à 96%
- En préparant au renouvellement du parc nucléaire à l'horizon 2050.

## 4.3 Les propositions du MIT 2018

Le Massachusetts Institute of Technology (MIT) a publié un rapport sur l'avenir de l'énergie nucléaire dans un monde soumis à des contraintes d'émission de carbone [ MIT 2018 ]. Il a étudié plusieurs scénarios de production d'électricité avec des objectifs d'émission de GES permettant de limiter le réchauffement de la température mondiale en dessous des 2°C. Plus précisément, le MIT a analysé les coûts des moyens de production d'électricité en partant du niveau actuel de 500g d'équivalent CO<sub>2</sub> par kilowatt heure (g/kWh), puis l'a comparé aux scénarios recommandés par l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) en 2017, qui précise que les émissions de CO<sub>2</sub> doivent être entre 10 à 25g / kWh d'ici 2050 et inférieurs à 2g par kWh d'ici 2060.

La figure 7 résume le point de vue du MIT qui estime qu'en l'état des connaissances et technologies actuelles, un mix énergétique sans recours au nucléaire (en orange) augmentera le prix moyen de production (construction et exploitation inclus) à

\$80/MWh pour un objectif de 100g de CO<sub>2</sub> et à \$100/MWh pour 50g. Mais dès que l'on se rapprochera de l'objectif de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> à 10g puis 1g, alors le coût passera à \$125/MWh puis à \$220/MWh. Soit une augmentation de +66% et +193% par rapport du coût actuel à \$75/MWh.



Source MIT extrait du rapport "The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World"

Figure 7 - Prix moyen du MWh et contribution du nucléaire dans la production

Mais le MIT précise qu'en conservant l'usage du nucléaire sur la base des coûts de production actuels (en bleu) et une optimisation à -25% (en jaune), cela ne ferait pas augmenter le coût de production à plus de \$100/MWh pour 1g de CO<sub>2</sub>. Soit moins de la moitié du coût sans nucléaire. Le même type d'écart se produit sur les autres régions analysés par le MIT.

## 5 Les organisations écologiques

Les associations écologiques militent dans le monde, pour certaines depuis plus de 50 ans. L'une des plus connues est Greenpeace qui existe depuis plus de 40 ans avec des représentations dans de nombreux pays. Cette ONG a été créée en 1971 alors que les Etats-Unis sortaient juste de la guerre du Vietnam, qui marquera durablement les esprits en Amérique du Nord, comme dans d'autres pays. Son objectif est de lutter pour la promotion d'un monde en paix avec l'environnement. La forme d'expression

retenue par ses membres est celle d'actions directes médiatisées qui lui permettent ensuite de faire pression sur les industriels et les gouvernements. Les premières actions auront pour objet de faire stopper les essais nucléaires américains au Sud-Ouest de l'Alaska. On se souvient également des actions contre les baleiniers, contre l'exploitation minière de l'antarctique, l'interdiction des filets dérivants et contre la déforestation de l'Amazonie. L'ensemble de ces actions a certainement poussé les gouvernements à s'engager pour le premier traité de Kyoto en faveur du climat.

### Les actions anti-nucléaires

Greenpeace s'oppose au nucléaire qu'il considère comme dangereux, polluant, coûteux et non renouvelable. L'organisation souligne les catastrophes nucléaires de Tchernobyl (1986) et Fukushima (2011) comme preuve du risque que peut constituer l'énergie nucléaire pour la population, l'environnement et l'économie. L'ONG considère que les avantages de l'énergie nucléaire sont relativement mineurs comparés à ses défauts et risques. Elle pointe en particulier les dommages sur l'environnement, la prolifération des armes nucléaires et les questions non résolues concernant les déchets nucléaires.

Au début des années 1980, Greenpeace avait fait des actions remarquées contre le déversement des déchets nucléaires Britanniques et Français en Mer du Nord et dans la Manche. Après l'accident de Tchernobyl et la réunification de l'Allemagne, les ONG anti-nucléaires ont mené des actions en Allemagne et en France visant des centrales nucléaires, les transports des déchets et les zones de stockage et de retraitement. Ces actions ont été renforcées à partir de 2001 pour souligner les faiblesses des centrales face aux risques terroristes, avec des démonstrations d'intrusions dans les sites nucléaires en France, en Allemagne, en Suisse et en Belgique. En France, l'autorité de sûreté nucléaire (ASN) a rapporté 4 intrusions sur sites nucléaires depuis 2014 alors que les ONG en revendiquent une dizaine.

*Note importante : il est assez difficile de trouver les sources fiables et preuves des faits et positions avancées par les ONG écologistes Pro et anti-nucléaires. Les informations des 2 paragraphes suivant sont des hypothèses sans valeur technique.*

## La position des ONG écologistes sur le nucléaire

Les organisations écologistes anti-nucléaires considèrent que le potentiel de l'énergie nucléaire, pour atténuer le réchauffement climatique, est marginal en faisant référence au scénario énergétique de l'Agence Internationale de l'énergie (AIE) selon lequel une augmentation de la capacité nucléaire mondiale de 2608 TWh en 2007 à 9857 TWh d'ici 2050 permettrait de réduire les émissions mondiales de gaz à effet de serre de -5% avec 32 réacteurs nucléaires d'une capacité de 1 000 MW construits par an jusqu'en 2050 [ IEA 2019 ]. En effet, l'ONG considère que la lenteur des travaux de construction, les retards de construction et les coûts cachés nuisent au potentiel d'atténuation de l'énergie nucléaire. Cela rend le scénario de l'AIE techniquement et financièrement irréaliste. Ils soutiennent également que des investissements massifs et contraignants dans le nucléaire détourneraient les fonds de solutions plus efficaces. L'alternative proposée dans le rapport de Greenpeace est basée sur l'augmentation de 350% de la production d'électricité renouvelable [ GP 2010 ].

## Les divergences entre ONG écologistes

Cette position anti-nucléaire est contestée par des groupes écologistes en faveur du nucléaire. C'est le cas de Patrick Moore<sup>27</sup> qui est maintenant en faveur du nucléaire avec l'argument que l'on ne peut se dispenser d'aucune source de production d'électricité sans CO<sub>2</sub>.

C'est également le cas de Jean-Marc Jancovici Président de l'association « The Shift Projet » qui s'interroge sur la position des écologistes anti-nucléaires qui approuvent le rapport du GIEC sur l'impact du réchauffement climatique, mais réfutent les conclusions de l'OMS<sup>28</sup> sur les conséquences radiologiques de Tchernobyl et Fukushima sous le prétexte que l'OMS et l'AIEA ont signé des accords de coopération. Jean-Marc Jancovici précise que ces accords existent naturellement puisque le GIEC, l'OMS et l'AIEA sont toutes les trois des instances de l'ONU.

---

<sup>27</sup> Ancien membre actif de Greenpeace dans les années 1970

<sup>28</sup> Organisation Mondiale de la santé

## Chapitre 2 Présentation du projet objet du mémoire

---

Ce chapitre présente la société ABB et son positionnement sur le marché, les principaux logiciels utilisés dans l'étude et la réalisation du projet présenté dans ce mémoire. Il présente au lecteur le contexte dans lequel se trouvait l'industrie nucléaire en 2012 après l'accident de Fukushima et ses impacts industriels et économiques. J'explique dans ce chapitre les raisons qui nous ont incité à lancer cette initiative et les conditions générales du marché de la vente de logiciels pour le nucléaire.

Je présente également la structure du projet, sa gouvernance, la méthode et les activités prévues pendant la durée du projet.

### 6 Le contexte du projet

L'idée même de ce projet a démarré début 2012, alors que l'industrie nucléaire prenait conscience de l'impact de l'accident de Fukushima dans les processus et l'organisation des centrales nucléaires. L'un des marchés traditionnels d'ABB, qui est celui de la commercialisation des solutions d'EAM sur le secteur de l'industrie nucléaire, commençait à être saturé. En effet, la position de leader du marché avec 95% des réacteurs en exploitation en Amérique du nord, 100% au Royaume-Uni et en France, fait que le potentiel de croissance pour la vente de logiciel d'EAM aux réacteurs en exploitation est plus difficile et donc plus concurrentielle. En cette période troublée, les propriétaires et exploitants hésitaient plus que jamais à investir dans les nouvelles technologies. Les perspectives de nouveaux projets pour ABB diminuaient et la seule voie de croissance était de développer l'offre permettant de répondre aux besoins des propriétaires de nouveaux réacteurs et des EPC<sup>29</sup> en charge de leur construction.

#### Naissance d'une idée

Dans le cadre de mes fonctions, j'ai donc proposé d'étudier une nouvelle approche pour permettre à ABB de créer et d'anticiper les besoins futurs de nos clients face aux changements liés à l'accident de Fukushima. Après avoir examiné quelques concepts clés essentiels, les standards utilisés pour l'organisation de l'information dans les

---

<sup>29</sup> Engineering Procurement Construction est une forme de contrat utilisé dans l'industrie couvrant les activités d'ingénierie, d'approvisionnement et de construction

centrales nucléaires, j'ai constaté que le nucléaire était en retard par rapport à d'autres industries qui développaient la démarche BIM<sup>30</sup>. En effet, cette démarche nécessite une prise en compte par l'industrie de ces concepts à grande échelle, ce qui certainement allait prendre encore plusieurs années compte tenu du faible volume de projet nucléaire dans le monde.

J'ai donc engagé une réflexion interne sur l'avantage de constituer une étape intermédiaire en permettant de relier les informations de conception utilisées par les Engineering et EPC dans les outils de PLM avec les informations de l'exploitant dans l'EAM. Cette approche est plus rapide et permettrait aux exploitants de disposer d'une source unique des données nucléaires, durable, évolutive et offrant de nombreux avantages immédiats aux exploitants nucléaires.

Du point de vue commercial, la possibilité de répondre à la fois aux besoins des exploitants, de l'engineering et des EPC, permettrait de créer un différentiateur sur les offres ABB pour le nucléaire. En particulier en Chine et les pays nouveaux entrant dans le nucléaire pour lesquels la présence d'ABB dans le pays est encore faible.

### Pourquoi maintenant ?

Début 2012, les exploitants japonais semblaient avoir des difficultés à produire, à la demande des autorités de régulation nucléaire, les informations justifiant de leurs choix de conceptions des réacteurs, tout comme les écarts entre la configuration physique et celle de l'Engineering. En effet jusqu'alors, le fonctionnement des relations entre le propriétaire et l'exploitant pouvaient se résumer de la façon suivante :

- Le propriétaire précisait dans un appel-d'offres ses objectifs techniques définis en conformité avec les exigences des autorités de régulation,
- Un EPC était chargé de la conception détaillée, de la construction et des tests sous le contrôle des autorités de régulation,
- Puis l'EPC transférait au propriétaire et à l'exploitant la responsabilité des installations nucléaires avec la documentation résultant de ces études.

L'exploitant a donc, à partir de cet instant, la responsabilité de gérer les écarts entre la configuration réceptionnée « telle que construit » (AS Built). Mais à la lumière de

---

<sup>30</sup> Building Information Modeling - Modélisation des informations (données) du bâtiment (infrastructures)

l'accident de Fukushima, les exploitants Japonais et mondiaux ont constaté qu'il est indispensable pour le propriétaire et l'exploitant de la centrale de disposer également de tous les éléments qui ont permis d'aboutir à la conception (AS Design) acceptée par les autorités. C'est-à-dire toutes les hypothèses et éléments de calculs. Or, dans la plupart des cas, l'EPC les a conservés dans ses outils d'engineering et n'a livré que les résultats et schémas de construction.

La première difficulté pour les exploitants était d'essayer de reconstituer ces éléments de calculs et de définir les règles d'indexations des documents en fonction des usages et des équipements concernés – soit une tâche très difficile voire impossible. Si les propriétaires de centrales en construction ont d'une certaine manière encore la possibilité de modifier les contrats avec les EPC pour être certain de construire ce référentiel unique, pour la majorité des exploitants ou projet déjà avancé, ils devront construire ce référentiel a posteriori sur la base des informations, données et systèmes informatiques à leur disposition.

Du point de vue commercial pour ABB, en 2012 sur la base des informations du WNA et de l'AIEA, le potentiel des réacteurs en construction était constitué de 60 réacteurs dont la construction avait commencé et environ 165 réacteurs dont la construction était à l'étude d'ici 2035. Même si le nombre de réacteur a été revu à la baisse dans les 3 ans qui ont suivi l'accident de Fukushima, le potentiel de ventes de logiciels pour ces nouveaux réacteurs représentait environ 5 à 7 réacteurs par an soit 2 à 3% de croissance par an.

## 7 Méthode et structure du projet

L'objectif du projet a pour objectif l'amélioration des flux d'échange et de partage des données, conduisant à une meilleure fluidité des processus. C'est plus un projet d'étude et de définition de concept, qu'un projet de développement de produit ou progiciel. Par ailleurs l'objet du projet n'a pas pour objectif la modification fondamentale de l'organisation et des processus mais uniquement d'apporter une meilleure efficacité et collaboration dans les processus. Aucun budget n'a été alloué pour ce projet, il fait partie des activités qui entrent dans le périmètre de responsabilité du département Product Management et Business Development.

## 7.1 Méthodologie du projet

Pour toutes ces raisons, nous avons décidé d'utiliser les principes d'amélioration continue type PDCA<sup>31</sup> et plus exactement les principes et étapes de la méthode 6 sigma appliqués à la conception des processus. Le projet suivra donc les 5 phases décrites dans les paragraphes suivants.

### Définir - identifier le problème

Cette activité consiste à comprendre le contexte dans lequel évolue le nucléaire, ses contraintes et ses difficultés potentielles, notamment au travers de différentes publications d'organismes internationaux cités au chapitre 1. Cela comprend par exemple l'étude de la problématique rencontrée par les constructeurs et exploitants de centrales nucléaires par des enquêtes ciblées réalisées auprès des participants au Nuclear Leadership Council<sup>32</sup>, interview directe d'exploitants ou anciens exploitants de centrales nucléaires en Europe et Amérique du Nord. Au travers de cette activité nous aurons l'occasion d'analyser les documents applicables aux centrales nucléaires définissant leur cadre réglementaire (Techdoc de l'AIEA), des standards issues du NEI et de l'INPO (AP928, AP925, ...) ou encore ISO 15926 relatif à l'interopérabilité des systèmes d'informations. Ceci nous permettra de cerner le périmètre des problèmes à mesurer avant de les analyser et de les qualifier.

Cette partie du projet inclut en particulier les tâches ci-dessous :

- Etude des contraintes du nucléaire (WNA, OCDE, AIEA, MIT, ...),
- L'étude du contexte des problèmes à résoudre (Enquête clients),
- Etude des standards applicables au nucléaire (AIEA, INPO, NEI),
- Etude de la performance des centrales nucléaires (Operating Experience report),
- Etude des incidents (IRS report de l'AIEA,)
- Identification des problèmes potentiels.

---

<sup>31</sup> Le Plan Do Check Act fait référence au processus itératif de Deming

<sup>32</sup> Réunions des membres des exploitants de centrales nucléaires clients des solutions ABB

### Mesurer le problème – évaluer les contraintes

Il s'agit ici de décrire les processus impliqués dans les problèmes potentiels identifiés à l'activité précédente. L'objectif est de comprendre les processus affectés pour en mesurer l'impact réel dans la performance. Pour cela, nous avons utilisé le fond documentaire des processus de l'EAM déjà décrit par ABB et les processus de l'INPO applicables au nouveau nucléaire. Les mesures porteront sur l'analyse des volumes de données manipulées par des clients et les analyses des transactions de leurs systèmes d'informations, communiquées sous accord de confidentialité. Cela comprend aussi l'étude et calculs des pertes de productions, retards de constructions ou d'arrêts de tranches<sup>33</sup> et les rapports de signalement d'incident nucléaire.

- Décrire les processus de l'EAM et du PLM concernés,
- Mesurer les volumes de données échangés par les processus critiques,
- Mesurer les transactions applicatives utilisées,
- Mesurer le nombre d'évènements nucléaires liés à un défaut de qualité de données,
- Mesurer l'impact de l'interopérabilité et de son inefficacité sur la construction.

### Analyser les causes du problème

Cette activité consiste à déterminer les causes réelles des problèmes de performance du nucléaire sur le périmètre identifié initialement. Elle est particulièrement importante pour déterminer en première analyse si le périmètre de la vision ABB constitué par son approche du système d'information intégré (SII) peut éventuellement contribuer à apporter une solution ou une amélioration aux problèmes posés. Et cela, dans la limite des contraintes mentionnées en introduction, à savoir pas de modification fondamentale de l'organisation et des processus de la centrale nucléaire.

- Analyse des entrées sorties de processus applicatif du PLM ,
- Analyse des entrées sorties de processus applicatif de l'EAM,
- Analyse des mesures de données sur les processus critiques,
- Analyse des interopérabilités inefficaces ou améliorables,
- Vérification des conclusions préliminaires.

---

<sup>33</sup> Unité de production électrique comportant une chaudière nucléaire

## Construire la solution – réponse au problème

Cette activité consiste à construire les scénarios sous forme de cas d'usage mettant en pratique une nouvelle approche, une nouvelle façon de travailler de collaborer ou d'échanger et de partager des données et documents dans le périmètre des processus identifiés. Elle consiste à déterminer les principes de fonctionnements des flux et des données en vue d'un développement ultérieur. L'approche retenue dans ce projet se limite toutefois à l'aspect conceptuel de la solution et non de la réalisation d'un produit ou d'une intégration progiciel. L'objectif principal est de construire un argumentaire commercial susceptible de convaincre un client potentiel d'adhérer à la vision proposée par ABB pour l'aider à améliorer sa performance globale et réduire les problèmes liés aux processus impactés par l'interopérabilité inefficace ou absente.

- Déterminer les cas d'usage portant la vision SII,
- Construire l'argumentaire des cas d'usages (vidéo, brochure et présentation),
- Identifier les partenaires susceptibles de participer à la démarche,
- Comparer la solutions avec la concurrence du nucléaire et des autres industries,
- Estimer le potentiel du marché couvert par la solution.

## Mettre en œuvre – présenter la solution

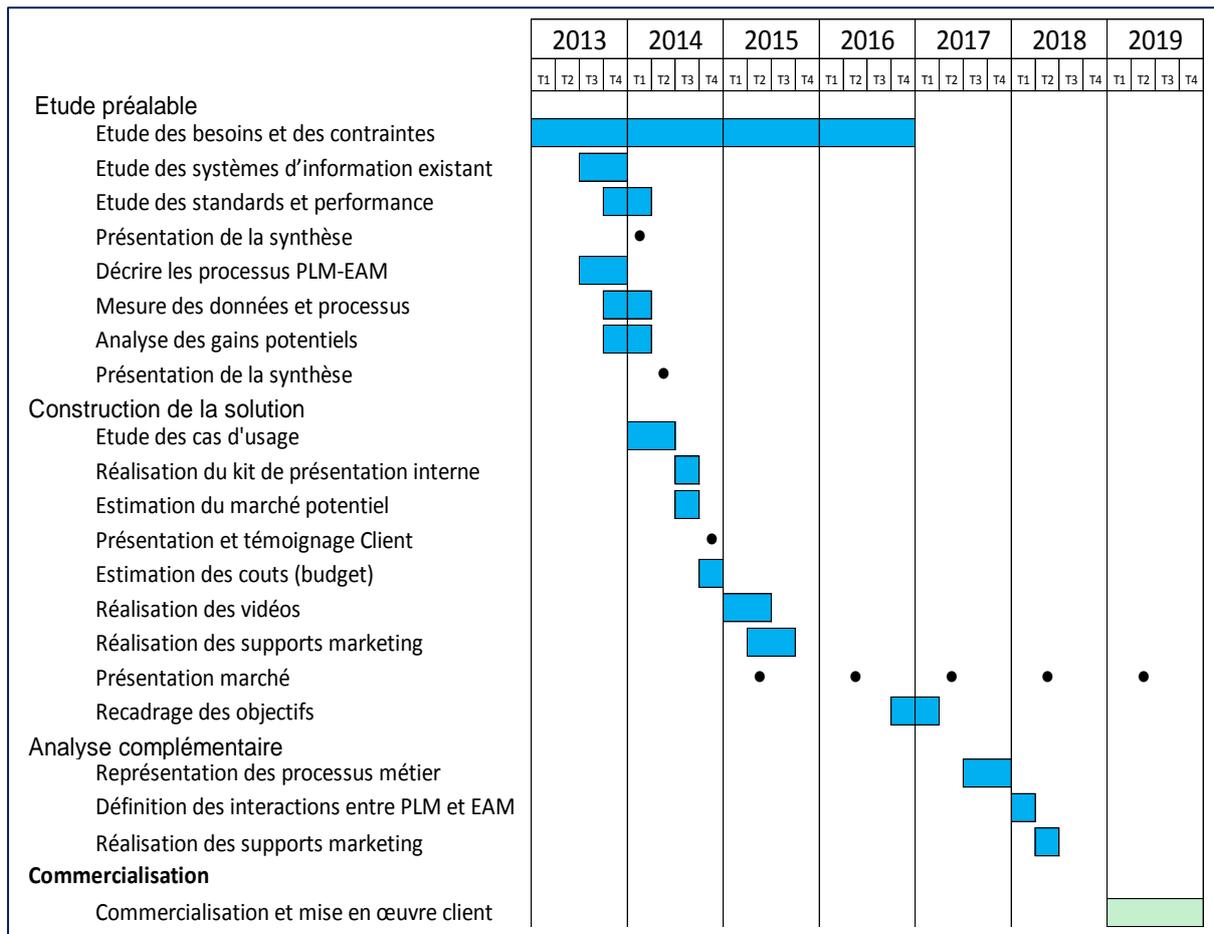
L'objet de cette activité marque l'aboutissement du projet dans la mission qui m'a été confiée à savoir : identifier, construire la solution et valider sa faisabilité. Elle consiste à présenter la solution aux clients ABB de l'industrie nucléaire, obtenir en retour la confirmation de l'intérêt ou des commentaires permettant le recadrage de la solution.

- Définition de l'approche marketing et commerciale
- Définition des cibles potentielles du nouveau nucléaire
- Présentation de la solution lors des ateliers de l'AIEA ou autres instances
- Présentation de la solution lors des appels à candidatures de SI nucléaires
- Présentation de la solution lors de salons, expositions dans le monde

Une fois le concept de la solution réalisé et lorsqu'un client nucléaire aura décidé de s'investir dans la démarche, la dernière phase du projet pourra être réalisée conjointement par l'équipe de développement au sein du département Product Management et avec l'assistance du département consulting.

## 7.2 Planning et gouvernance du projet

La figure 8 présente un aperçu du déroulement du projet et de ses activités. Dans sa version initiale, le planning du projet était composé des phases : Etude préalable, Construction de la solution et Commercialisation. Mais à l'issue de l'activité de recadrage une phase d'Analyse complémentaire portant sur les processus métiers spécifiques a été ajoutée.

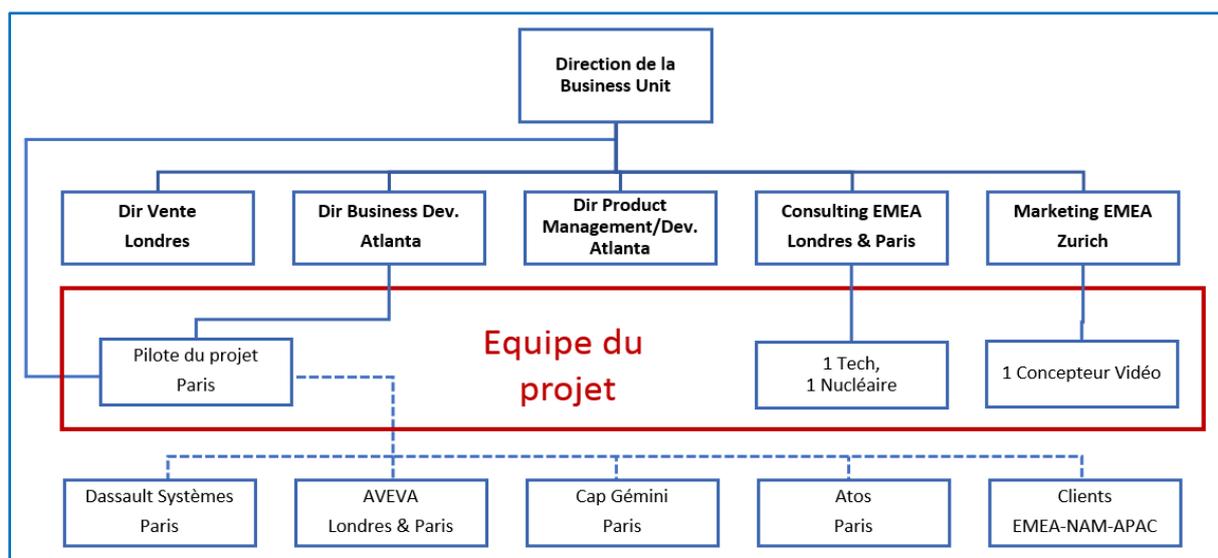


Source Michel Vouille

Figure 8 - Synthèse du planning du projet

### Organisation et gouvernance du projet

Compte tenu de ses implications stratégiques, ce projet a été piloté sous la direction Business Development et la direction générale dont les directions sont situées à Atlanta – Etats-Unis. J'ai pu bénéficier ponctuellement des ressources de différents départements pendant certaines activités du projet, en particulier celles du département consulting et marketing.



Source Michel Vouille

Figure 9 - Organigramme du projet

Les rôles et contributions de chaque département pendant le projet sont résumés au tableau ii. L'organigramme du projet est indiqué à la figure 9 ci-dessous

Tableau ii – Contribution de l'organisation d'ABB dans la réalisation du projet

Département	Responsabilité	Contribution & rôles dans le projet
Direction générale	Définit la gouvernance stratégie de la Business Unit	Valide la stratégie et les objectifs du projet
Direction Vente	Exécute la stratégie commerciale et gère les comptes clients	Valide la stratégie et les objectifs, assistance dans la mise en relation avec les clients internationaux
Direction Business Development	Etudie les besoins futur du marché, support des commerciaux	Contribue à la définition des objectifs et valide les hypothèses du projet. Approuve les ressources
Product Management & Development	Définit les produits et réalise leur développement et architecture	Revue et valide la solution proposée, informe des contraintes technologiques liées à au développement de la nouvelle version de l'EAM.
Consulting	Implémente les solutions logiciels chez nos clients nucléaires	Assiste à la conception de la solution par l'apport de consultants techniques et nucléaires
Marketing	Gère la communication et fournit un support marketing à la BU	Assiste à la réalisation et production marketing, brochures et vidéo.
Pilote du projet	Responsable de la définition et de l'exécution du projet	Elabore la stratégie, pilote toutes les activités et rend des comptes à la direction.

Source Michel Vouille

## 8 Présentation de l'entreprise et des outils

### 8.1 ABB Enterprise Software

Le groupe ABB, résultat de la fusion du suédois ASEA et du suisse Brown Boveri, est une entreprise internationale ayant son siège à Zurich - Suisse. ABB est un acteur majeur des technologies de l'énergie et de l'automatisation. A travers ses activités, ABB apporte une contribution aux principaux moteurs de l'activité humaine d'aujourd'hui et de demain, notamment la réduction de la consommation d'énergie, le développement des énergies renouvelables, de villes intelligentes et d'industries plus efficaces. ABB est présent dans près de 100 pays, avec environ 137 000 collaborateurs et un chiffre d'affaires de 28,6 milliards de dollars US (2018).

ABB Enterprise Software, qui est une Business Unit du groupe ABB, est le leader mondial de solutions d'EAM<sup>34</sup> pour l'industrie nucléaire. Ses solutions sont utilisées par la communauté nucléaire civile depuis plus de 30 ans, avec à ce jour plus de 55% des centrales nucléaires dans le monde. ABB tire profit de son expérience en qualité de fournisseur de l'industrie nucléaire, d'éditeur de logiciels mais également de ses relations privilégiées avec les meilleurs exploitants nucléaires au monde.

ABB s'est engagé dans une démarche collaborative avec ses clients pour rester à la pointe des technologies et des fonctionnalités nécessaires à la construction, l'exploitation et le démantèlement des centrales nucléaires. Avec une vision centrée sur l'avenir, on notera parmi les innovations récentes pour l'EAM, des solutions connectées de mobilités sur tablette et smartphone, l'accès aux applications mains libres sur casque de l'agent, la prise en compte des données physiques en temps réel avec l'intégration (IT/OT)<sup>35</sup>, gestion du parc nucléaire et la distribution des solutions sur le cloud (source ABB France).

---

<sup>34</sup> Gestion d'actif de l'entreprise (Enterprise Asset Management - EAM)

<sup>35</sup> Information Technology / Operational Technology

## 8.2 Gestion d'actifs de l'entreprise (Enterprise Asset Management - EAM)

La gestion des actifs est décrite comme « des activités et des pratiques systématiques et coordonnées permettant à une organisation de gérer de manière optimale et durable ses actifs et ses systèmes d'actifs, leur performance, leurs risques et leurs dépenses tout au long de leur cycle de vie, dans le but de réaliser son plan stratégique organisationnel » (Spécification BSI PAS 055-1 ou ISO55000).

La gestion des actifs est axée sur la maintenance, la réparation et l'exploitation d'un ensemble d'équipements, ainsi que sur l'organisation et les processus opérationnels utilisés pour obtenir la meilleure performance et pérennité de l'investissement. Cela suppose que tous les acteurs de la centrale travaillent ensemble. C'est précisément ce que permettent les solutions d'EAM, en facilitant la communication et la capitalisation de l'expérience d'exploitation pour gérer les installations à long terme.

Les objectifs et la stratégie définis par la direction des centrales nucléaires sont transposés dans l'EAM en politique de maintenance et processus opérationnels, pour chaque partie de l'organisation (maintenance, exploitation, ingénierie et autres). La gestion des actifs suppose une connaissance et un contrôle stricts de la configuration de l'installation, des systèmes et des équipements. Au travers de ces fonctionnalités, l'EAM permet la mise en œuvre rigoureuse des processus que l'industrie nucléaire a développé au cours des 40 dernières années et qui permettent d'éviter les écarts entre la configuration physique et la référence de conception de l'installation.

## 8.3 Gestion du cycle de vie (Plant Life Management - PLM)

La gestion du cycle de vie (Product Life management PLM) est utilisée depuis plus de dix ans dans l'industrie manufacturière pour gérer et partager toutes les informations, de la conception du produit à sa fin de commercialisation. Les industries de process et de l'énergie ont commencé à déployer ces solutions sous le même acronyme signifiant Plant Life Management (PLM). Les données et les informations sont collectées et gérées selon une approche intégrée et sont mises à la disposition de tous les acteurs en fonction de leurs besoins pour effectuer leur travail. Les informations ne se limitent pas seulement aux plans et schémas, elles incluent aussi

plusieurs formats de données : spécifications de conception, guide d'utilisation, stratégie de maintenance, modèles numériques 3D, procédures de test, etc.

L'ensemble de ces informations est accessible selon le profil, le rôle, la responsabilité et l'autorité de l'utilisateur. Le PLM couvre le flux d'informations des acteurs impliqués dans la conception jusqu'au processus de livraison. Cette approche de la centralisation du flux de données et d'informations, permet d'améliorer l'efficacité de l'organisation dans la mise en œuvre, des grands projets ou des modifications importantes des installations des centrales nucléaires.

Plusieurs entreprises comme Dassault Systèmes ont déjà beaucoup investi dans le développement de leur solution de PLM pour le marché. Même si l'industrie nucléaire ne fabrique pas des grandes séries, elle commence à utiliser les solutions PLM pour collecter les multiples formats de documents créés lors de la conception et contrôler la livraison et la construction des installations et équipements nucléaires.

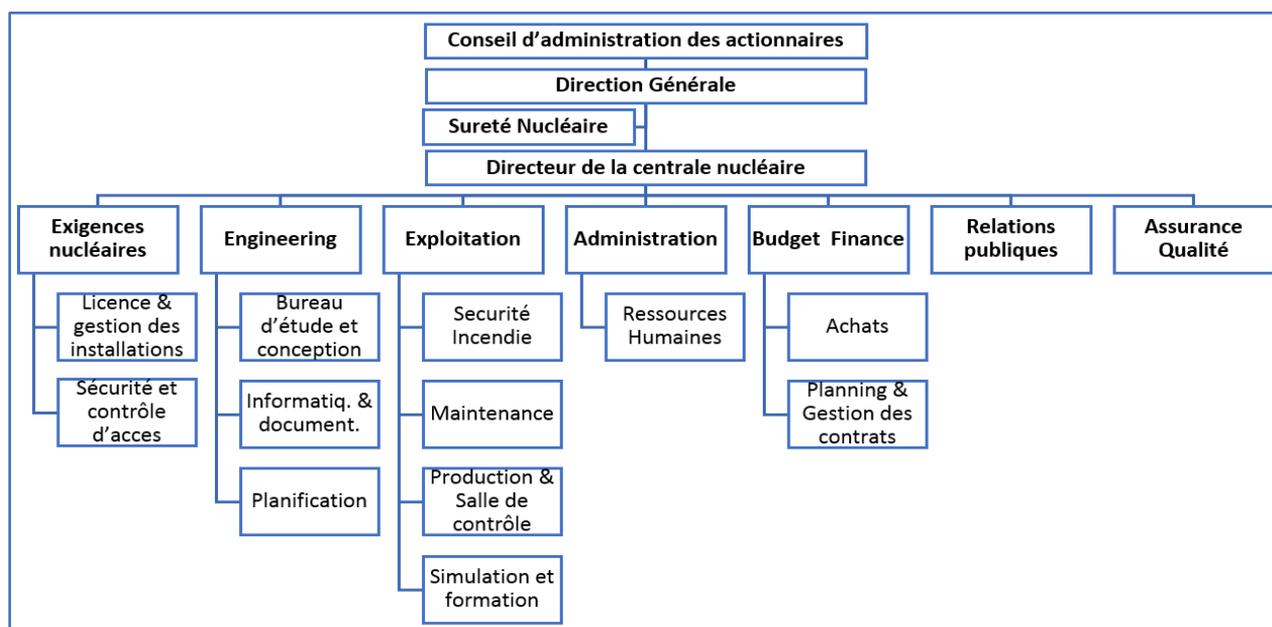
## Chapitre 3 Réalisation du projet

Ce chapitre présente les résultats obtenus pendant le projet, les études et les analyses qui ont permis de confirmer sa faisabilité. Il présente un état des lieux des systèmes d'informations, des standards utilisés et les solutions existantes à l'époque du projet. Je présente dans ce chapitre les synthèses des contraintes et enjeux des systèmes d'information du nucléaire (SIN) et les recommandations de l'AIEA et autres organismes. Cet état des lieux est complété par le résultat des recherches que j'ai engagé pour déterminer les gains potentiels à chacun des problèmes. Je présenterai seulement un aperçu de la solution pour des raisons de confidentialité.

### 9 Etats des lieux du nucléaire et de son système d'information

#### 9.1 Les organisations type d'une centrale nucléaire

L'organisation des centrales nucléaires peut varier légèrement d'un exploitant à un autre, d'un pays à un autre en fonction des exigences réglementaires des autorités nucléaires, de la culture sûreté, de l'expérience de l'exploitant ou encore du nombre de réacteurs à construire et du type de relation avec l'engineering. L'organisation est assez indépendante du type de réacteur. La figure 10 ci-dessous représente l'organisation type d'une centrale nucléaire.



Source AIEA Michel Vouille

Figure 10 - Exemple d'organisation d'une centrale nucléaire

## 9.2 Les processus de construction

Construire une centrale nucléaire est un projet complexe dont les processus dépendent fortement du cadre législatif et réglementaire en vigueur dans le pays. L'AIEA définit 3 phases essentielles pour la construction d'une centrale nucléaire : Etude , Développement et Construction. Elles sont réalisées sur une durée de 15 à 25 ans pendant laquelle de nombreux aléas peuvent impacter le projet.

La figure 11 montre le modèle de gestion EDF ENPM®<sup>36</sup> développé pour les futurs propriétaires et exploitants de centrales nucléaires. Il décrit les étapes de construction qui complètent les 3 phases de l'AIEA : Etude préalable, Développement-conception du projet et Construction-commissionnement.

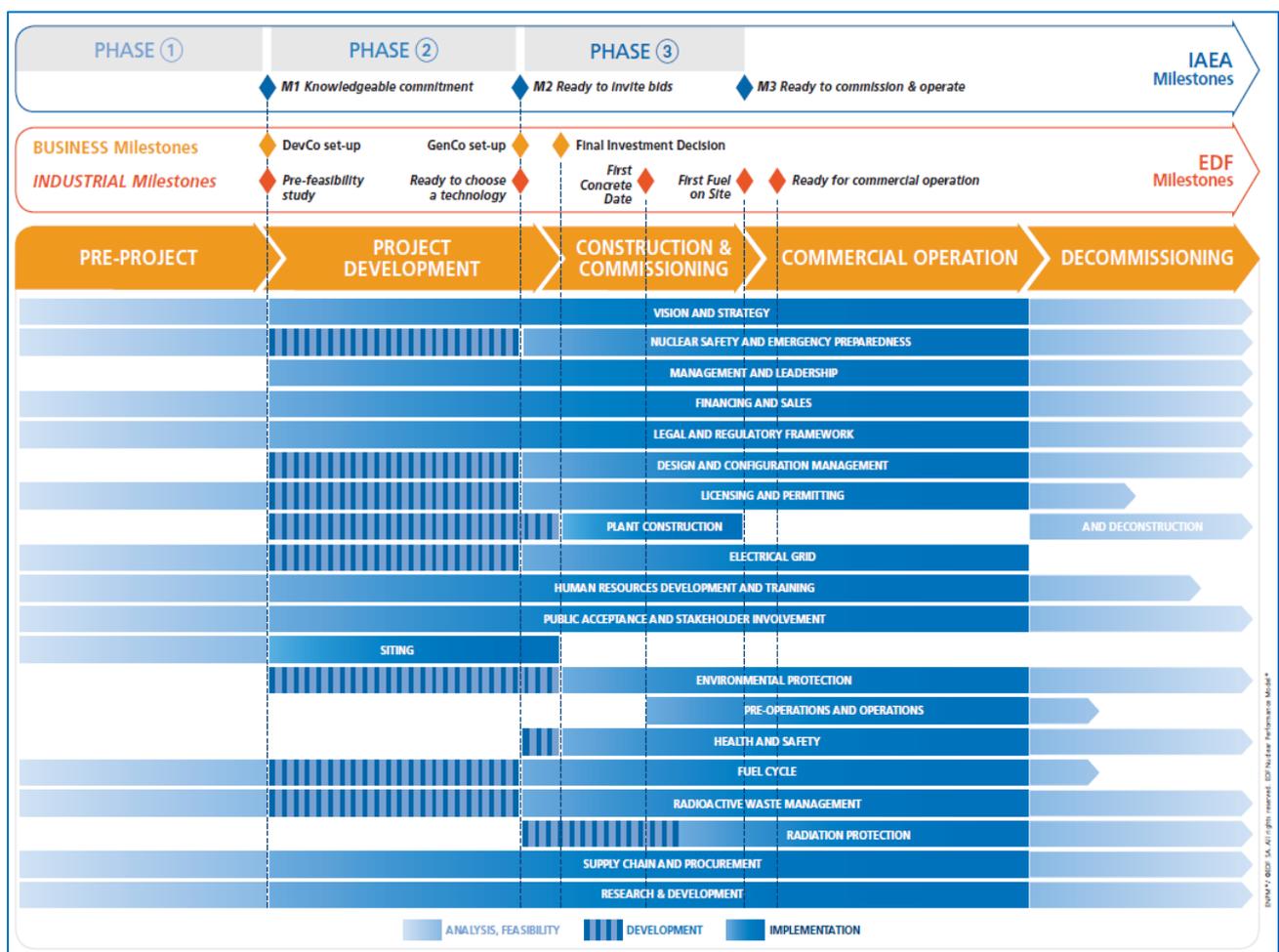


Figure 11 - ENPM® / ©EDF SA. EDF Nuclear Performance Model®

<sup>36</sup> EDF Nuclear Performance Model® - Version EDF 2016 de l'ensemble des processus nucléaires

Les 2 premières phases ont une durée de 5 à 7 ans chacune, la phase de construction est réalisée en 7 à 10 ans selon la technologie retenue pour le réacteur, les contraintes d'approvisionnement, de réalisation et de vérification. Comme dans d'autres industries critiques, le partage de l'expérience est une pratique commune qui permet aux projets suivants de bénéficier de l'expérience des projets précédents.

La phase d'étude préalable permet au futur propriétaire de définir sa vision stratégique incluant le cadre législatif, la gouvernance, le financement et la technologie du réacteur. Il doit également conduire les enquêtes socio-économiques, l'information du public sur le choix du site et l'étude d'impact environnemental.

La phase de développement du projet et de conception regroupe les activités de développement de la culture de sûreté nucléaire dans le pays et de l'exploitant si elle n'existe pas déjà. Après le choix du type de réacteur, la phase de conception détaillée peut commencer avec l'obtention de la licence de construction et les autorisations diverses.

La phase de construction commence lorsque l'autorité nucléaire nationale a donné la licence de construction qui détermine le cadre réglementaire et les exigences nucléaires applicables au projet. Ce cadre peut évoluer pendant la durée du projet. La vigilance du propriétaire de la centrale et de l'EPC est cruciale pour que toutes ces modifications ou reprises de travaux n'entraînent pas un surcoût et une sur-complexité au moment des tests et commissionnement.

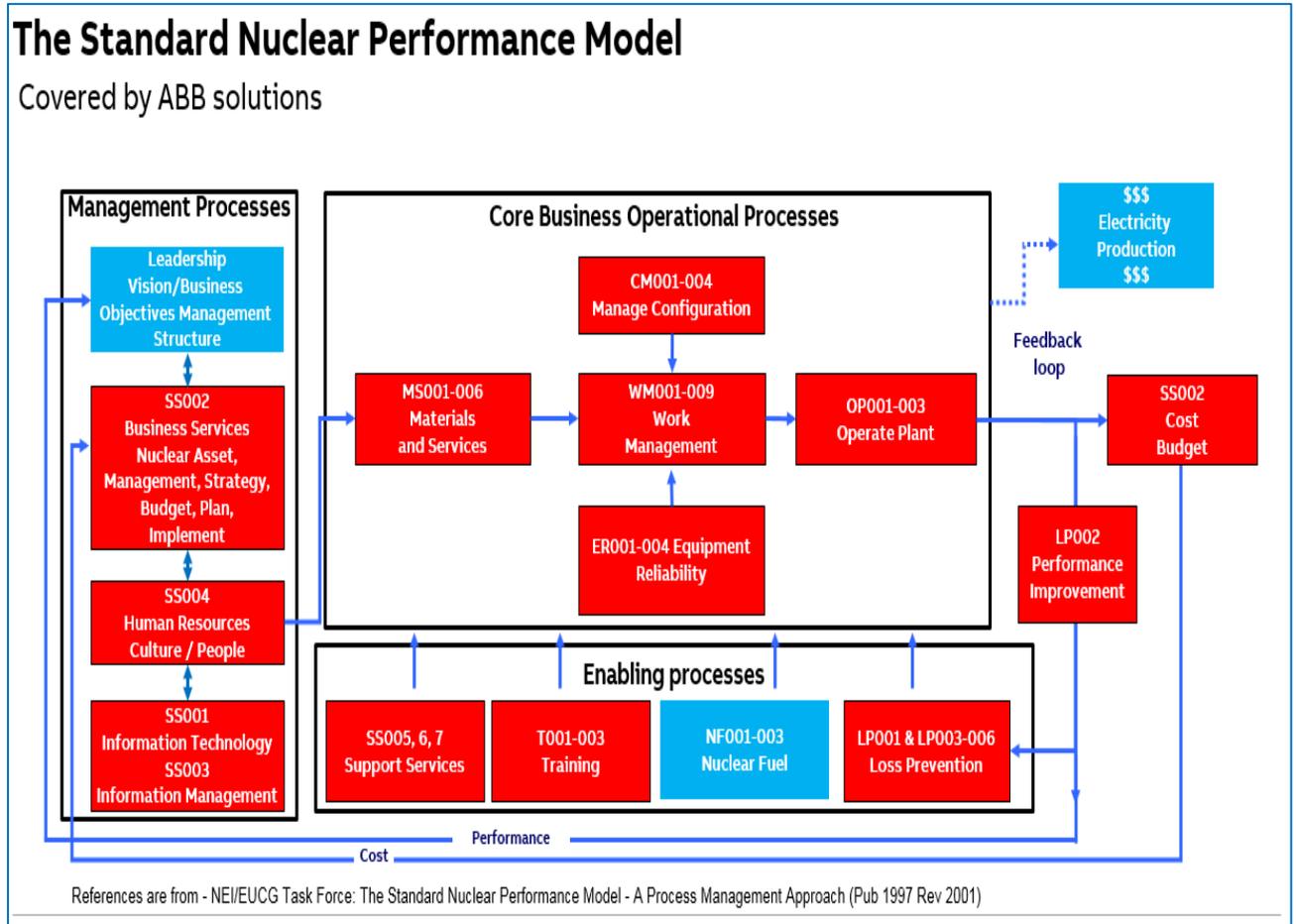
### 9.3 Les normes et standards applicables au nucléaire

#### 9.3.1 Le modèle de gestion (SNPM)

Depuis 1998, le modèle de performance nucléaire standard (SNPM) fournit un résumé des processus nucléaires, y compris les définitions des ressources nécessaires pour les gérer. Ce modèle constitue une base de référence pour la définition des meilleures pratiques dans l'industrie nucléaire.

Le principe de ce standard représenté à la figure 12, est de fournir un outil de gestion des processus qui consolide trois dimensions critiques pour analyser les performances d'une centrale nucléaire (Performance, coûts et description des processus). Il comprend les indicateurs qui permettent d'en mesurer l'impact sur la

performance et permet à l'exploitant de comprendre les processus utilisés dans une centrale nucléaire et les données associées nécessaires aux analyses comparatives.



Source NEI / ABB/Michel Vouille

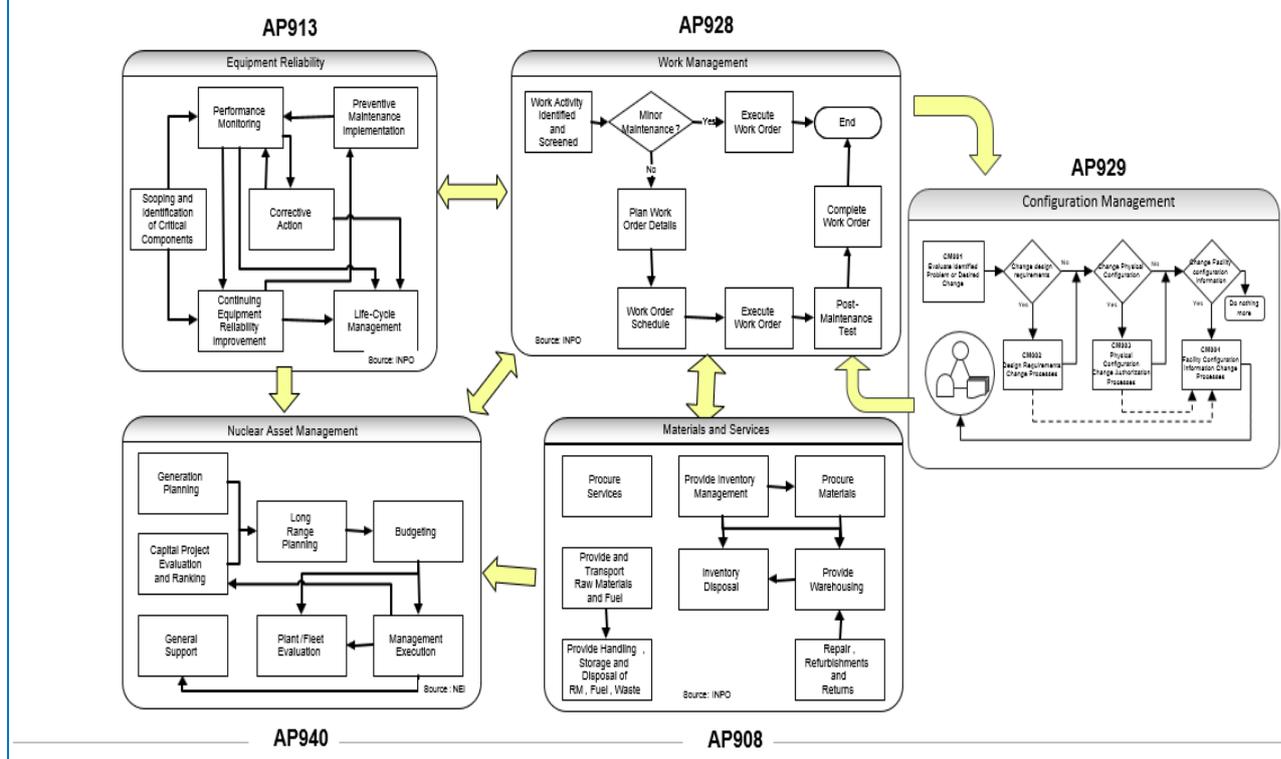
Figure 12 - Modèle standard de performance nucléaire SNPM - source ABB / NEI

### 9.3.2 Les processus descriptifs de l'INPO

Quelques années après, INPO a enrichi le modèle SNPM par des recommandations connues sous le nom de descriptions de processus «AP-NNN». Chaque processus du SNPM est représenté sous la forme de diagrammes de flux et de définitions d'étapes détaillées.

La figure 13 représente les principaux processus couvrant le SNPM et les échanges entre eux. Le dernier (AP-913) ayant été développé en collaboration avec l'EPRI et les exploitants nucléaires. L'ensemble du modèle de gestion SNPM et les processus descriptifs de l'INPO représentent un standard reconnu et appliqué par la majorité des exploitants nucléaires dans le monde qui couvre la gestion de l'activité, la gestion de la configuration, la gestion des matériels, des installations et de la fiabilité.

## NEI / INPO Performance Model



Source NEI / INPO ABB/Michel Vouille

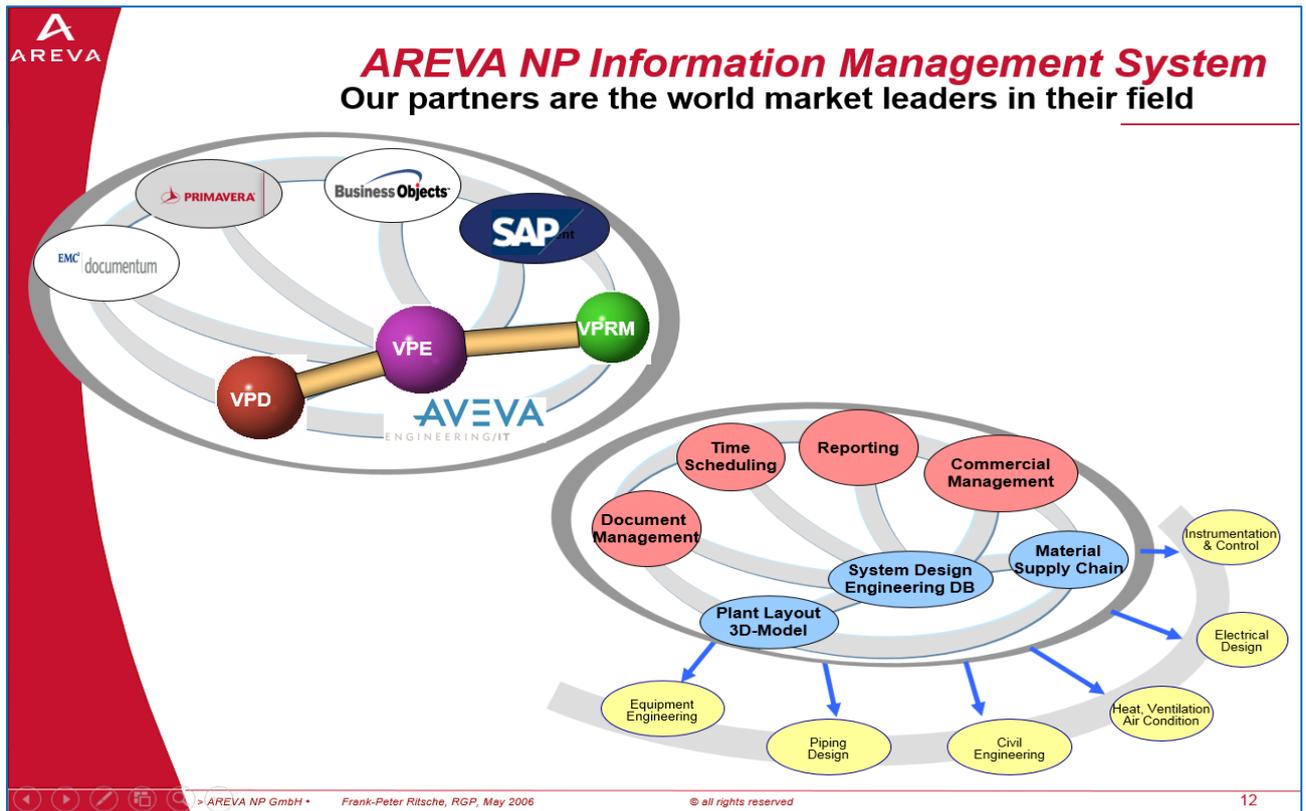
Figure 13 - Représentation des recommandations du NEI / INPO - Source ABB

### 9.4 Etude des systèmes d'information existant

Comme évoqué dans ce document, les exploitants nucléaires étudient les solutions collaboratives pour gérer les flux de l'organisation. En particulier en s'inspirant des approches des industries de process et de grande série comme l'aéronautique, qui utilisent PLM, BIM, maquette ou jumeau numérique.

#### 9.4.1 Framatome (AREVA) – Nucléaire - France

Dès 2006, AREVA s'est engagé dans une démarche de construction d'un système d'information pour le nucléaire (PLM intégré). Celle-ci était motivée par la nécessité de traiter le programme EPR en tant que série avec la volonté de répliquer et comparer les écarts entre les EPR existant et les suivants. L'enjeu était d'éviter les risques financiers liés aux dérives d'un projet qui sont très supérieurs à la mise en place d'une approche PLM intégrée. AREVA s'est entouré de partenaires solides, plus pour gérer ses besoins en tant que concepteur que pour gérer la construction elle-même.



Source AREVA Conférence PELC 2006

Figure 14 – Représentation du Système d'information IMS

La figure 14 montre une représentation synthétique de l'IMS (Information Management System) d'AREVA de 2006. C'était à l'époque, principalement un système d'échange de données sous forme de Template et document au travers de produits du marché capables de gérer tous les formats de documents et données pendant la phase de conception et de construction. Ensuite, AREVA a poursuivi sa démarche pour y traiter les données de spécifications et les modèles de données 3D.

- AVEVA est l'outil pour gérer le modèle 2D/3D, les P&ID, et la gestion du matériel
- Primavera est utilisé pour la planification des travaux de conception
- SAP pour la gestion de projet et les achats, le BI<sup>37</sup> (Business Object)
- Documentum pour gérer les exigences Nucléaires et le fonds documentaire

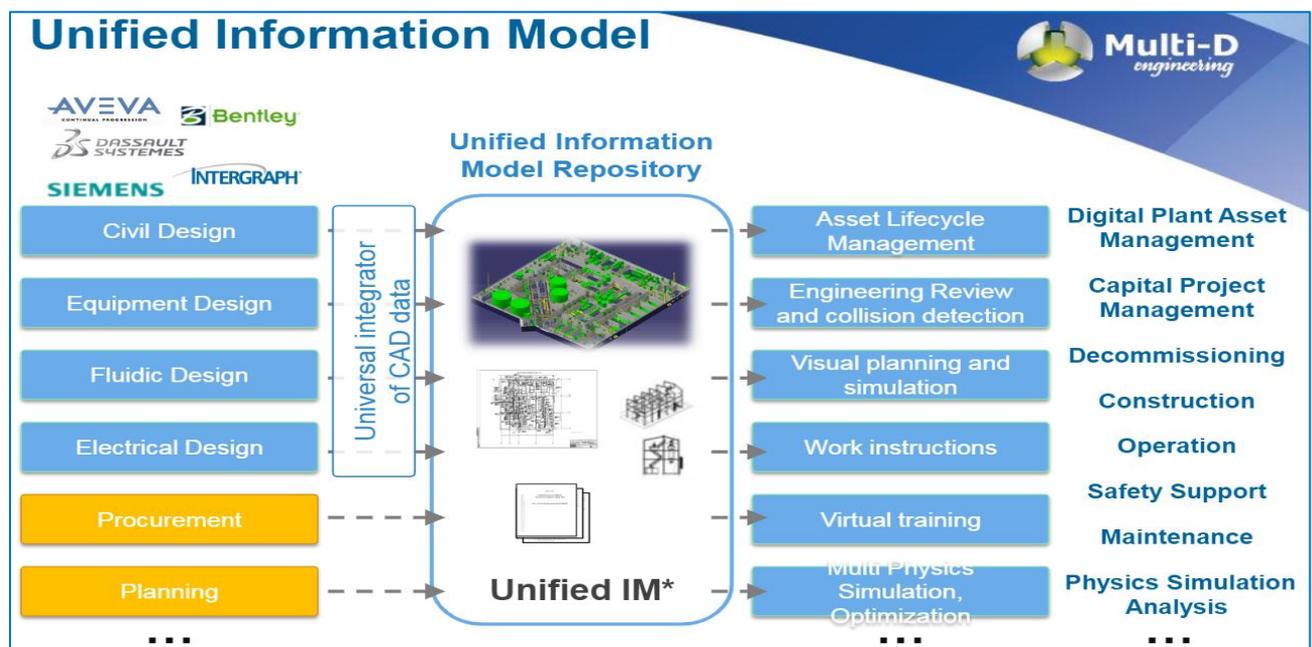
Par la suite, AREVA s'est rendu compte que pour faciliter les opérations de transfert à l'exploitant et pour gérer les activités postérieures à la phase de test du réacteur, il était préférable que l'exploitant dispose de la même plateforme ou d'une plateforme compatible capable gérer les documents et données. Si on peut estimer que la

<sup>37</sup> Business Intelligence - Infocentre

solution est robuste et a satisfait les objectifs définis à l'origine, elle n'avait pas vocation à être transférée à l'exploitant pour les 60 ans d'exploitation du réacteur.

#### 9.4.2 NIAEP (Rosatom) – Nucléaire - Russie

NIAEP est une filiale du groupe ROSATOM (concepteur des réacteurs VVER). NIAEP a élaboré une vision du système d'information nucléaire permettant de gérer les données et informations de l'engineering pendant la construction et tout le cycle de vie. Cette solution a été conçue avec le partenariat de NEOLANT (intégrateur) et Dassault Systèmes (Editeur de PLM). La solution a été présentée pour la première fois à la conférence Générale de l'AIEA en Sept 2015. Baptisée plateforme Multi-D, celle-ci s'appuie principalement sur la solution de PLM de Dassault Système (ENOVIA).



Source ASE – Conférence générale AIEA 2015

Figure 15 – Représentation de la Plateforme Multi-D d'AES

La solution permet de gérer plusieurs formats de données des fournisseurs (Integraph, AVEVA, Bentley, ...) représentant l'ensemble des types de documents d'engineering comme représenté sur la figure 15. Le répertoire du modèle unifié des informations d'engineering est géré par ENOVIA (Dassault Système) pour une utilisation par tous les acteurs de la centrale nucléaire.

La vision de la plateforme NIAEP est conforme à la stratégie commerciale des réacteurs russes, puisque ROSATOM se positionne comme concepteur et

constructeur (EPC) de centrale nucléaire. La plateforme multi-D est donc une solution intégrée de PLM qui permet avant tout à ASE<sup>38</sup> de gérer le projet de construction jusqu'à la livraison. Il peut ensuite livrer à l'exploitant le modèle de donnée du projet dans sa version finale (AS Design) qui sera chargé dans l'outil d'EAM retenu par l'exploitant au moment de la mise en route. Dans les années suivantes, ASE a exprimé sa volonté de livrer son système d'information à l'exploitant dans le cadre de ses projets, couvrant toute l'organisation d'une centrale nucléaire, PLM, EAM et ERP y compris. Mais à ce jour, l'intégration n'est pas encore disponible.

#### 9.4.3 Airbus – Aéronautique – France

La démarche d'AEDS-Airbus s'inscrit dans une démarche de production de séries avec une gestion totale du cycle de vie. Ceci est directement lié à l'organisation d'Airbus (15 usines en Europe) et à son modèle business (fabrication clé en main, fourniture de pièces détachées, fourniture de services de maintenance). Dès lors, Airbus a intégré dans son organisation et ses procédures de travail la gestion de la configuration et la gestion du cycle de vie. Le contexte industriel réglementaire et concurrentiel fait que l'aéronautique a de nombreuses similarités avec l'industrie nucléaire.

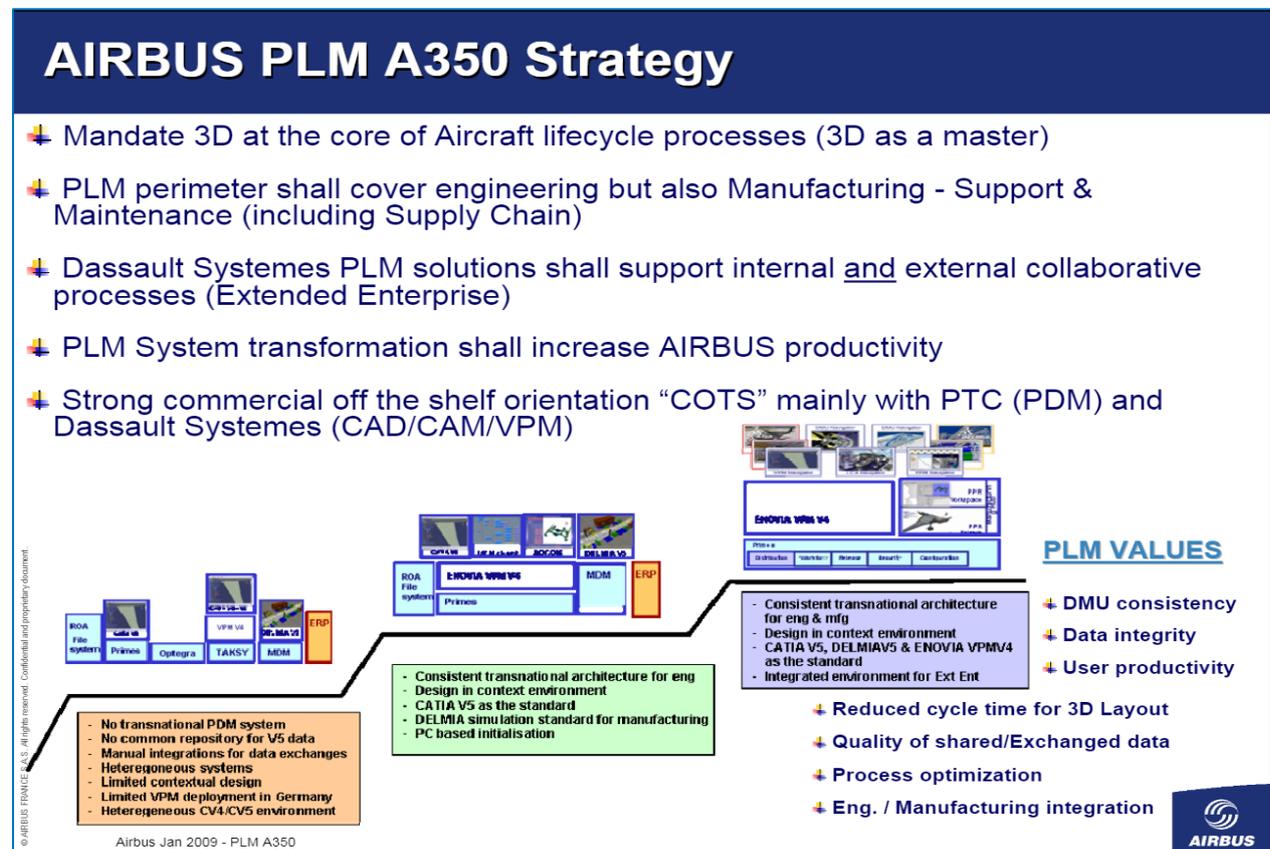
- Contraintes : fortes contraintes réglementaires et environnementales, gestion de la traçabilité totale, gestion de la configuration, réduction des nuisances sonores,
- Fabrication : conception, production en grande série personnalisable et livraison rapide avec des outils de modélisation et de simulation virtuelle,
- Disponibilité : amélioration de l'exploitation, gestion à l'échelle des opérations de maintenance pour une meilleure autonomie et fluidité du trafic des avions,
- Rentabilité : réduction des coûts liés au développement de produits, à la fabrication et aux coûts d'exploitation (le moins de maintenance possible),
- Sécurité : renforcement de la protection des avions et de toute la chaîne de conception, fabrication, maintenance et protection de l'avion contre les attaques.

La figure 16 montre l'évolution future du système d'information d'Airbus en 3 phases. De son environnement hétérogène (phase 1) à l'étape de standardisation des outils

---

<sup>38</sup> En 2016 la société NIAEP a été absorbée par AtomStroyExport (ASE) et renommée ASE-Engineering. ASE est la filiale de Rosatom en charge la vente des réacteurs à l'international.

de conception et partage des informations aux autres usines (phase 2), jusqu'à sa vision complète de maquette numérique, apportant flexibilité, traçabilité et partage des modèles 3D pour les domaines jusqu'en fin de vie (phase 3). La vision d'Airbus est très avancée et très proche des contraintes du nucléaire.



Source Airbus 2009

Figure 16 – Représentation de la Stratégie PLM intégrée d'Airbus

#### 9.4.4 Synthèse des solutions existantes

Le tableau iii représente la synthèse de ces 3 sociétés au moment de l'étude avec leurs évolutions futures. L'objectif n'est pas d'en décrire les différences fonctionnelles détaillées, mais seulement les domaines couverts. On note que la couverture fonctionnelle des solutions étudiées est principalement orientée pour répondre d'abord aux besoins de la construction. Si la vision respective de Rosatom et Airbus, envisage d'intégrer la gestion du cycle complet, celle-ci n'est toujours pas mise en œuvre à ce jour. L'approche ABB lui permettra de disposer d'un avantage concurrentiel..

Tableau iii - Comparaison des référentiels ROSATOM, AREVA, AIRBUS

		Rosatom	Areva	Airbus	ABB
Editeurs / fournisseurs		SAP, IBM Dassault	PTC, SAP AVEVA	PTC, Dassault	ABB, Dassault
<b>Avant-Projet</b>					
	Gestion des Exigences				PLM
	Avant-projet sommaire				
	Avant-projet Détaillé				
<b>Projet</b>					
	Conception détaillée				PLM
	PDM partagé				PLM
	Achats de fabrication				EAM
	Réception - Conception				EAM
	Gestion de configuration				PLM-EAM
	Test et essais				EAM
	Mise en service				EAM
	Maquette numérique-Engineering.				PLM
	Partage des données				PLM-EAM
	Référentiel Engineering				PLM
<b>Exploitation</b>					
	Transfert / données				PLM-EAM
	Exploitation				EAM
	Maintenance				EAM
	Conformité avec les exigences				EAM
	Gestion des évènements				EAM
	Gestion de configuration				EAM
	Gestion de modification				EAM
	Maquette numérique pour Exploit.				PLM
	Référentiel unique entreprise				PLM-EAM
<b>Démantèlement</b>					
	Stratégie de démantèlement				EAM
	Engineering de démantèlement				PLM
	Démantèlement				EAM
	Maquette numérique pour Démntl.				PLM
	Domaines couvert	Actuel	Futur		

Source Michel Vouille

## 10 Les défis du nucléaire civil

L'industrie nucléaire doit faire face à un contexte en évolution permanente. Les contraintes réglementaires ont augmenté depuis l'accident de Fukushima de 2011 résultant des leçons tirées par les autorités de régulation internationales, locales, les gouvernements, l'opinion et l'industrie nucléaire, auxquelles s'ajoute le développement de la concurrence d'autres sources d'énergies et en premier lieu les énergies renouvelables qui ont modifié les règles d'injections dans le réseau et leur rôle.

### 10.1 Volatilité des prix de l'électricité et de l'énergie

Comme pour d'autres industries, la production d'électricité nucléaire a besoin d'investissements importants pour la construction et l'exploitation des centrales. Les producteurs-exploitants doivent disposer d'assez de visibilité sur les prix du marché pour assurer un équilibre pérenne entre les coûts de production, d'amortissement et de vente. Cet équilibre existait dans la plupart des pays ayant investi dans le nucléaire. Mais au cours des 10 dernières années, l'arrivée progressive des énergies renouvelables, l'ouverture des marchés accompagnés par la fin des tarifs réglementés de l'électricité perturbent cet équilibre. C'est le cas en Europe où les énergies renouvelables ont la priorité d'injection sur les réseaux de transport et de distribution, et lorsqu'elles sont en abondance, font chuter les cours des marchés de gros de l'électricité en dessous des coûts de production moyens du nucléaire qui se situent aux environs des 42€ / MWh.

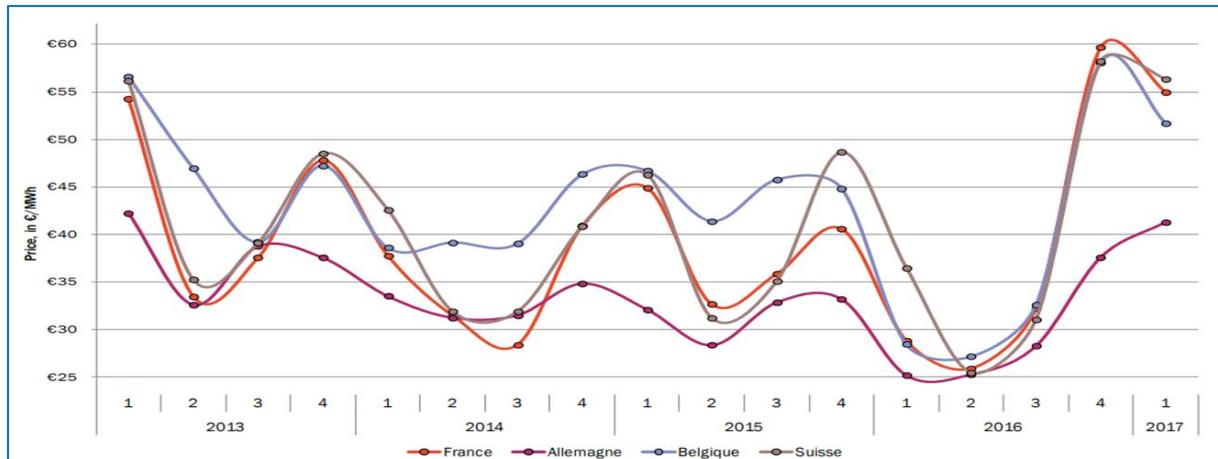
La figure 17 extraite du rapport de la CRE<sup>39</sup> [ CRE 2017 ] montre l'évolution des prix de gros de l'électricité pour les contrats passés la veille pour une livraison le lendemain. On peut constater au cours de la période 2013-2017, une variation très importante des cours allant de 25€ à 60€ le MWh. Pour les marchés à long terme, on constate que les prix de gros pour une livraison 1 an après sont en dessous de la valeur définie par l'ARENH<sup>40</sup> comme étant le seuil de rentabilité pour la production nucléaire en France. Même si en général les prix remontent au cours de l'hiver, ces

---

<sup>39</sup> Commission de régulation de l'énergie - France

<sup>40</sup> ARENH (Accès Régulé à l'Electricité Nucléaire Historique) est un dispositif créé en 2010 par le gouvernement dans le cadre de la loi NOME (Nouvelle Organisation du Marché de l'Electricité)

variations créent des difficultés aux exploitants nucléaires pour définir leurs stratégies et planifier les investissements importants.



Source : EPEX SPOT, EEX – Analyse : CRE extrait du rapport [ CRE 2017 ]

Figure 17 - Moyenne trimestrielle des prix de l'électricité (Livraison jour suivant)

**Note :** Aux Etats-Unis, c'est l'abondance de gaz et en particulier de gaz de schiste qui a fait baisser les prix de gros de l'électricité, à un niveau tel que certains exploitants de centrales nucléaires ont décidé d'arrêter la production. Les prix du marché ne permettaient plus de faire les investissements nécessaires pour la modernisation des installations et maintenir les plus hauts niveaux de sûreté de fonctionnement.

## 10.2 Coûts d'exploitation, coûts de maintenance, investissement en capital

Comme évoqué au paragraphe précédent, la volatilité des prix de gros des marchés de l'électricité a fortement réduit les marges des exploitants nucléaires qui doivent produire mieux et moins cher. Dans le monde entier, cette préoccupation a été comprise et considérée comme un enjeu de survie de l'industrie nucléaire. Plusieurs approches ont d'ores et déjà été engagées par des institutions comme l'INPO et le NEI avec le concours des exploitants nucléaires américains qui se sont regroupés au cours d'une initiative commune appelée « Delivering Nuclear Promises » dont l'objectif est de revoir les processus d'exploitation pour supprimer l'inutile et le superflu et renforcer la sûreté de fonctionnement et la production dans les meilleures conditions de coûts. L'objectif est une réduction de 30% des coûts de production du MWh.

C'est également ce que rappelle la SFEN dans sa contribution à la PPE [ SFEN 2018] en indiquant que le programme « Grand carénage » engagé par EDF dans le cadre

de l'extension de la durée d'exploitation du parc permettra à la France de bénéficier d'une électricité bas carbone à des coûts compétitifs. La SFEN précise que les coûts du nucléaire de troisième génération peuvent être réduits de l'ordre de 30 % par rapport au premier chantier grâce à des effets de série et d'apprentissage.

### 10.3 Contraintes politiques et réglementaires

L'accident de Fukushima a poussé les gouvernements et les autorités internationales de tous les pays à renforcer leurs exigences en matière de sûreté nucléaire. Y compris pour la sécurité des centrales qui dans certains pays doivent faire face à des menaces d'attaques terroristes. Afin de gagner et maintenir la confiance du public et des autorités, les exploitants se sont engagés à se mettre en conformité, selon un calendrier défini avec les autorités qui a été présenté à la 59<sup>ème</sup> conférence générale de l'AIEA [ AIEA 2015 ]. Dans la plupart des cas, lorsque les coûts sont acceptables, ces contraintes entraînent des modifications dites post-Fukushima de l'organisation ou des installations comme par exemple :

- Ajout d'une source d'énergie électrique (ligne à haute tension, ou DUS<sup>41</sup> ),
- Ajout d'un circuit de refroidissement du réacteur supplémentaire (rivière, canal),
- Mise en place d'une structure d'intervention d'urgence de type FARN<sup>42</sup> d'EDF,
- Doublement ou triplement de certains équipements critiques,
- Renforcement des qualifications sismiques et inondations des équipements.

Cela représente en général quelques dizaines de projets à exécuter en parallèle. Les exploitants de centrales nucléaires doivent pour cela gérer et disposer d'une quantité croissante d'informations pour l'analyse future de la sûreté et de la sécurité des installations pendant et après les travaux .

**Note :** En France, EDF profite de son programme « Grand Carénage » pour faire les modifications post-Fukushima. La limite théorique d'exploitation est de 40 ans. EDF a engagé un programme de modification d'une partie de son parc pour obtenir l'accord de l'ASN d'exploiter ses centrales jusqu'à 60 ans. Aux Etats-Unis cette limite a déjà été atteinte et les exploitants pensent maintenant à étendre la durée de vie de leurs centrales à 80 ans.

<sup>41</sup> DUS – Générateur Diesel d'Ultime Secours

<sup>42</sup> Force d'Action Rapide du Nucléaire de EDF capable d'intervenir en moins de 24h sur n'importe quelle centrale en France pour assurer le refroidissement du cœur du réacteur

## 10.4 Synthèse et recommandations

ABB intervient depuis plus de 30 ans dans l'industrie nucléaire (voir **Error! Reference source not found.**). Les équipes travaillent au contact des exploitants nucléaires pour la mise en œuvre des solutions de gestion d'actif (EAM) ABB et sont à l'écoute des besoins de leurs clients dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue. Le tableau iv résume les principaux défis opérationnels de l'industrie nucléaire tirés de cette expérience et des études que j'ai réalisées dans le cadre de ce projet.

Tableau iv – Défis opérationnels de l'industrie nucléaire

Défis	
<b>EPC et ingénierie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La construction commence avant la fin de la conception, des modifications de conception de l'installation sont possibles pendant la construction,</li> <li>- Les installations sont transférées progressivement à l'exploitant avant la fin des travaux,</li> <li>- Les EPC et les engineering clients n'ont pas vraiment défini de normes ou standards pour la documentation livrée par les fournisseurs et l'échange de données,</li> <li>- Cela entraîne des difficultés de référencement du fonds documentaire (prescription, documentation, schéma 2D, P&amp;ID, modèle 3D, données),</li> <li>- L'absence d'un fonds documentaire commun rend plus difficile la prise en compte des besoins de l'exploitant et la maintenance en phase de construction.</li> </ul>
<b>Règlement Sécurité et conformité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Toutes les actions et modifications sur les installations, documentations ou système d'information doivent être tracées et justifiées,</li> <li>- La construction et l'exploitation sont soumises aux mêmes exigences nucléaires et aux mêmes réglementations en matière de sûreté nucléaire,</li> <li>- Les exigences des autorités de sûreté nucléaire augmentent régulièrement sur la base des incidents constatés dans le monde.</li> </ul>
<b>Exploitation &amp; Coût</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le contexte économique du marché de l'électricité met une pression importante sur les exploitants pour la réduction des coûts et des budgets,</li> <li>- Les autorités de régulation exigent que les exploitants gèrent la configuration des installations de façon plus précise et plus détaillée,</li> <li>- Les exploitants doivent être capables de gérer les arrêts non planifiés et s'efforcer d'en réduire les impacts sur la production,</li> <li>- L'exploitant doit être capable de faire face aux aléas de réalisation des arrêts planifiés, et d'en maîtriser l'impact sur le délais des arrêts,</li> <li>- L'exploitant doit garantir la sécurité des sous-traitants sur les chantiers. Il doit s'assurer des compétences du personnel externe pour éviter les accidents.</li> </ul>

- Défis	
<b>Données et Docs.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sans une vision globale, 50% de la documentation d'ingénierie livrée au démarrage du site ne serait plus à jour un an après le début d'exploitation,</li> <li>- Un effort considérable de mise à jour de la documentation est nécessaire lorsqu'elle n'a pas été structurée pour les organisations du site,</li> <li>- Les données capturées par une partie de l'organisation ne sont pas facilement visibles et accessibles aux autres départements et acteurs,</li> <li>- Absence d'une source unique de donnée pour toute l'entreprise et beaucoup de temps pour la collecte des données à partir de systèmes plus nombreux et peu collaboratifs.</li> </ul>
<b>Organisation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De nombreux acteurs et une organisation complexe sont nécessaires à la construction-exploitation de la centrale, la communication étant essentielle,</li> <li>- Ces différentes organisations ont des procédures de travail, des objectifs et systèmes d'information différents et souvent difficiles à intégrer,</li> <li>- Les exigences réglementaires ne sont pas alignées d'un pays à un autre ce qui rend difficile la mise en œuvre de pratiques internationales et cela nécessite un travail d'adaptation préalable important.</li> </ul>

Source Michel Vouille

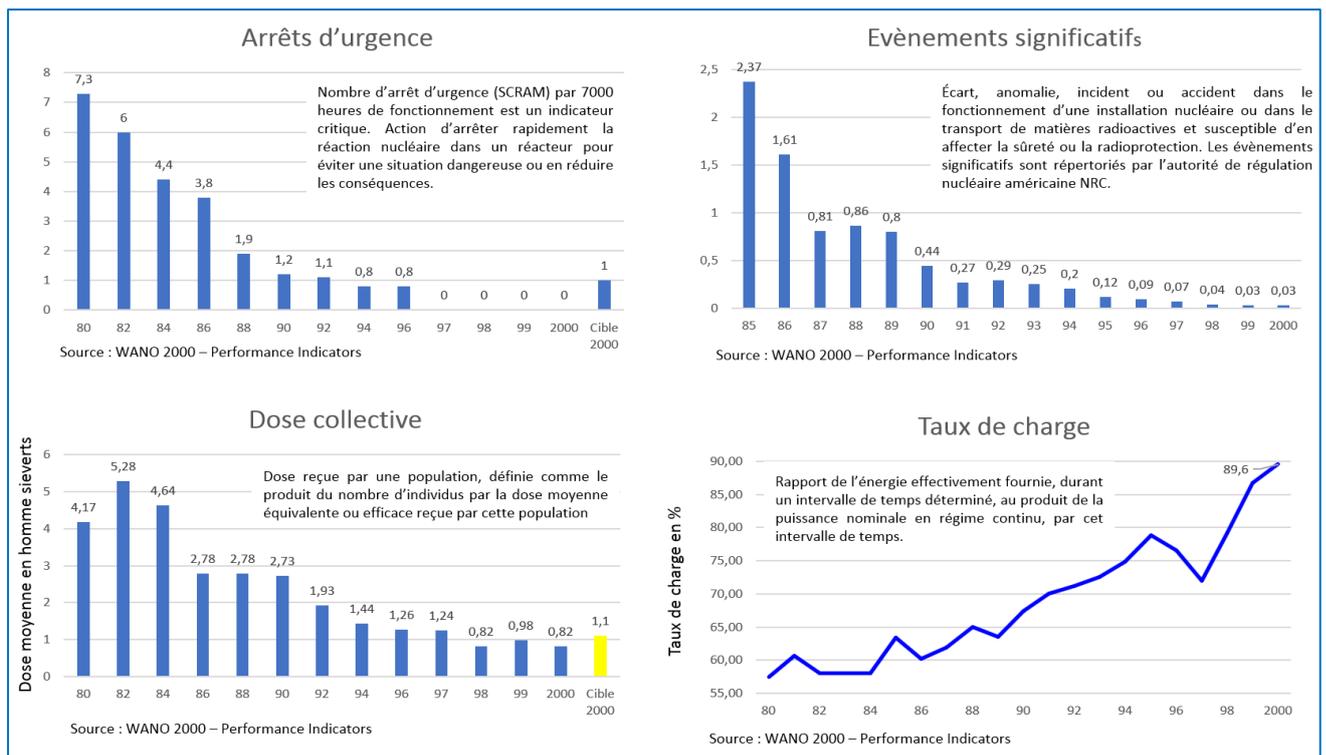
Ces défis constituent généralement une priorité absolue, mais en réalité, ils doivent être considérés comme des opportunités de transformation majeures et d'amélioration des procédures de travail. C'est d'ailleurs ce que nous confirme l'histoire du nucléaire, si l'on examine les leçons tirées d'évènements ou d'accidents importants. Par exemple, à la suite du premier accident nucléaire de la centrale de Three Miles Island (TMI)<sup>43</sup> en 1979 et des recommandations de la commission d'enquête Kemeny, l'autorité de sûreté nucléaire américaine (NRC)<sup>44</sup> a obligé l'industrie nucléaire à s'inspirer des meilleures pratiques de l'INPO et à reconsidérer les modes de fonctionnement des centrales nucléaires.

Les résultats de cette période de transformation (1980-2000) sont indiqués dans la figure 18. Ils révèlent que malgré la réticence initiale d'un point de vue financier de la mise en œuvre de ces nouvelles procédures de travail, les exploitants américains ont non seulement réduit le nombre d'incidents et d'évènements nucléaires, mais ils ont également augmenté les taux de charge des centrales nucléaires.

---

<sup>43</sup> Three Miles Island (TMI)

<sup>44</sup> Nuclear Regulatory Commission – NRC



Source NEI et WANO 2000 ABB/Michel Vouille

Figure 18 - Taux d'accident de sûreté nucléaire

## 11 Contribution du SI dans la performance nucléaire

### 11.1 Le point de vue du MIT pour optimiser le nucléaire

Dans la deuxième partie de son rapport, le MIT s'est attaché à identifier les options possibles d'amélioration de la performance générale du nucléaire [ MIT 2018 ].

#### Renforcer l'utilisation de méthodes de gestion de projet

L'expérience récente des projets de construction nucléaire aux États-Unis et en Europe a démontré les défaillances répétées dans la conduite et la réalisation de ces grands projets. Le MIT pointe en particulier les méthodes de gestion de la construction en termes de capacité à livrer des réacteurs dans les délais et dans le budget. Parmi les 6 recommandations suivantes, on peut noter qu'elles concernent toutes les outils informatiques, la gestion des données ou la collaboration entre les acteurs :

- Besoin de disposer d'une conception plus détaillée et complète avant de démarrer la construction > impact sur les outils et données,
- Disposer d'une chaîne d'approvisionnement éprouvée et d'une main-d'œuvre qualifiée > impact sur les outils et données,

- Communiquer et impliquer les fabricants et constructeurs dans les équipes d'engineering dès le début de la conception pour éviter les erreurs et gagner en efficacité et en conformité > impact sur les outils, les données et la collaboration,
- Redéfinir et centraliser les responsabilités avec des effectifs possédant une expertise confirmée dans la gestion de multiples sous-traitants indépendants > impact sur la collaboration,
- Etablir une structure de décision et de passation de marchés garantissant que tous les acteurs ont un intérêt dans la réussite du projet > impact sur la collaboration,
- Disposer d'un environnement réglementaire rigoureux suffisamment flexible aux changements mineurs et imprévus dans la conception et la construction dans les meilleurs délais > impact sur les outils, les données et la collaboration.

Ces recommandations du MIT peuvent être transposées au domaine des données et de l'information de la façon suivante : Il est essentiel pour les grands projets de gérer un grand volume de données et d'informations avec de nombreux acteurs. Ces volumes ne peuvent plus être gérés et partagés sans des outils informatiques et méthodes. Ils permettent de gérer et piloter le projet selon un plan qui pourra évoluer et fournissent un support de communication essentiel entre les acteurs pour vérifier le respect de leurs obligations respectives.

### Favoriser les constructions en série standardisées optimisées

Le MIT pense que l'industrialisation de la construction des centrales nucléaires permettra d'optimiser les coûts de construction. En particulier en choisissant un type de réacteur commun dont la construction peut être industrialisée. Les bénéfices de cette approche ont d'ailleurs été démontrés en France par EDF qui a retenu un seul modèle de réacteur à eau pressurisée, celui de l'américain Westinghouse avec la collaboration de Framatome<sup>45</sup> pour construire et développer son parc de 58 réacteurs de 1971 à 1991. Les exploitants chinois ont également adopté cette stratégie et décidé de standardiser leur parc nucléaire à venir autour d'un seul et même choix de réacteur : le HPR<sup>46</sup>. Ce réacteur de conception chinoise s'inspire de la technologie des EPR de Framatome et de l'AP1000 de Westinghouse.

Le MIT suggère également de centraliser les réacteurs sur des sites de grande taille de façon à fédérer les moyens communs. C'est ce qu'a fait la France à Gravelines

---

<sup>45</sup> Framatome est une filiale de EDF depuis 2018, connue sous le nom de AREVA NP depuis 2006.

<sup>46</sup> Hualong Pressurized Reactor

(6 réacteurs REP 900MW) et d'autres exploitants dans le monde. Le déploiement de plusieurs tranches standardisées, en particulier sur un seul site, permet de tirer des enseignements considérables de la construction de chaque réacteur. En particulier par la mise en œuvre d'outils informatiques permettant de faire une comparaison rigoureuse de la configuration et des pratiques de construction et d'exploitation. La standardisation a également l'avantage de permettre une comparaison des performances sur un parc de réacteurs plus nombreux et similaires.

C'est également ce que préconise le WANO pour que l'industrie progresse en tirant partie de l'expérience acquise par tous les exploitants nucléaires. Par exemple une approche analytique des taux de pannes sur des vannes, pompes ou autres composants critiques pourrait permettre de retenir des fabricants de matériels plus robustes, fiables ou moins coûteux à maintenir. Cette comparaison peut concerner des choix techniques de matériels ou bien la stratégie de maintenance ou encore les processus de travail.

## 11.2 Les enjeux stratégiques d'un SI nucléaire intégré (SII)

Nous pouvons constater dans la vie de tous les jours que la donnée est devenue le centre de l'information qu'elle qu'en soit la nature (information, texte, image ou vidéo), par exemple elle est devenue le centre des réseaux sociaux. Les systèmes d'informations du nucléaire n'y font pas exception, c'est ce qu'a confirmé Neil Wilmshurst, Président du Forum et Vice-Président de l'EPRI<sup>47</sup>, lors du 5ème Forum de coopération des exploitants nucléaires à Vienne<sup>48</sup>, qui a déclaré : « *L'un des éléments clés de la prochaine décennie sera d'améliorer le partage et la coopération entre les propriétaires et exploitants de centrales nucléaires et les autres organisations, acteurs de l'industrie, fournisseurs de services ou de technologie pour un fonctionnement sûr des centrales nucléaires* ». Les impacts stratégiques pour le nucléaire y sont décrits dans les paragraphes suivants.

---

<sup>47</sup> Electric Power Research Institute EPRI

<sup>48</sup> The 5th Nuclear Operator Organization Cooperation Forum held during the 59th IAEA General Conference in Vienna - 2016.

### 11.2.1 Optimiser les processus de construction du nouveau nucléaire

Comme déjà évoqué, le nucléaire doit faire face à de nombreuses contraintes réglementaires, financières et techniques. Si les ambitions du nucléaire étaient de produire une électricité abondante, fiable, dans les meilleures conditions de sûreté et au meilleur prix, nous pouvons constater que le dernier objectif n'a pas été atteint. En effet, dans les années 80, il fallait \$1Milliard USD (\$3,1 Milliard en USD constant en 2019) et environ 8 ans entre le premier béton et la première divergence. Dans les années 2000-2010 il fallait \$8 Milliards et 12 ans de projet. Seule la Chine et la Corée ont réussi à maintenir la durée de construction moyenne en-dessous des 8 ans.

Le tableau v ci-après reprend les recommandations du MIT [ MIT 2018 ] pour améliorer le processus de construction des centrales nucléaires. Il est complété par la contribution et réponse apportées par des systèmes d'information.

Tableau v - Synthèse du MIT pour le nucléaire et contribution du SII pour la construction

	Problèmes et recommandations du MIT	Contribution du système d'information intégré (SII)
<b>Conception</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En Europe et en Amérique du Nord la construction commence avant que la conception ne soit terminée,</li> <li>- Cela entraîne des modifications de la conception en cours de construction ou de tests ou encore de l'installation recettée,</li> <li>- Il faut réduire les risques de modifications et disposer de processus solides et flexibles pour traiter les modifications.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'engineering dispose et maintient une vision complète de la conception (As-Design)<sup>49</sup>,</li> <li>- Les données sont accessibles aux acteurs du projet (EPC, exploitant) pour réagir avant de commencer la construction,</li> <li>- Le processus de modification permet la préparation et le suivi des dossiers de réalisation vers l'EPC et l'exploitant,</li> <li>- Le SII est capable de gérer plusieurs versions de la configuration physique du projet et de la conception.</li> </ul>
<b>Construction</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les sous-traitants et EPC doivent mieux gérer leurs projets et disposer de données fiables,</li> <li>- Le propriétaire doit avoir un meilleur contrôle du planning et de la qualité pendant toute la durée du projet,</li> <li>- Les sous-traitants/EPC doivent être impliqués dans la réussite du projet.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le SII permet la planification détaillée et l'optimisation du projet sur la base des modèles de construction,</li> <li>- La modélisation des activités de construction permet à l'EPC de contrôler le déroulement du projet et d'anticiper les éventuels conflits impactant le projet,</li> <li>- Les données de conception et de construction sont partagées vers les applications métiers de l'exploitant et des autorités de sûreté.</li> </ul>

<sup>49</sup> Tel-que conçu

	Problèmes et recommandations du MIT	Contribution du système d'information intégré (SII)
Ressources, matériel et service (SC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'absence de projet nucléaire récent en Europe et Amérique du Nord a réduit l'expertise disponible du nucléaire,</li> <li>- Les experts doivent capitaliser leurs connaissances pour les nouveaux arrivants,</li> <li>- La chaîne d'approvisionnement doit fournir suffisamment d'informations aux fournisseurs pour qu'ils puissent répondre dans les meilleures conditions aux appels d'offres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les personnels peuvent être formés sur un modèle 3D. Les processus métier peuvent être configurés et standardisés de façon à capitaliser les connaissances,</li> <li>- Le SII permet de relier les modèles de conception avec les systèmes de sécurité (incendie, dosimétrie, consignation, ... ) ce qui permet l'intervention des agents dans les meilleures conditions,</li> <li>- La réception et la maintenance des matériels livrés avant qu'ils ne soient installés physiquement sont tracées dans le PLM et l'EAM simultanément.</li> </ul>

Source Michel Vouille

### 11.2.2 Améliorer la performance opérationnelle

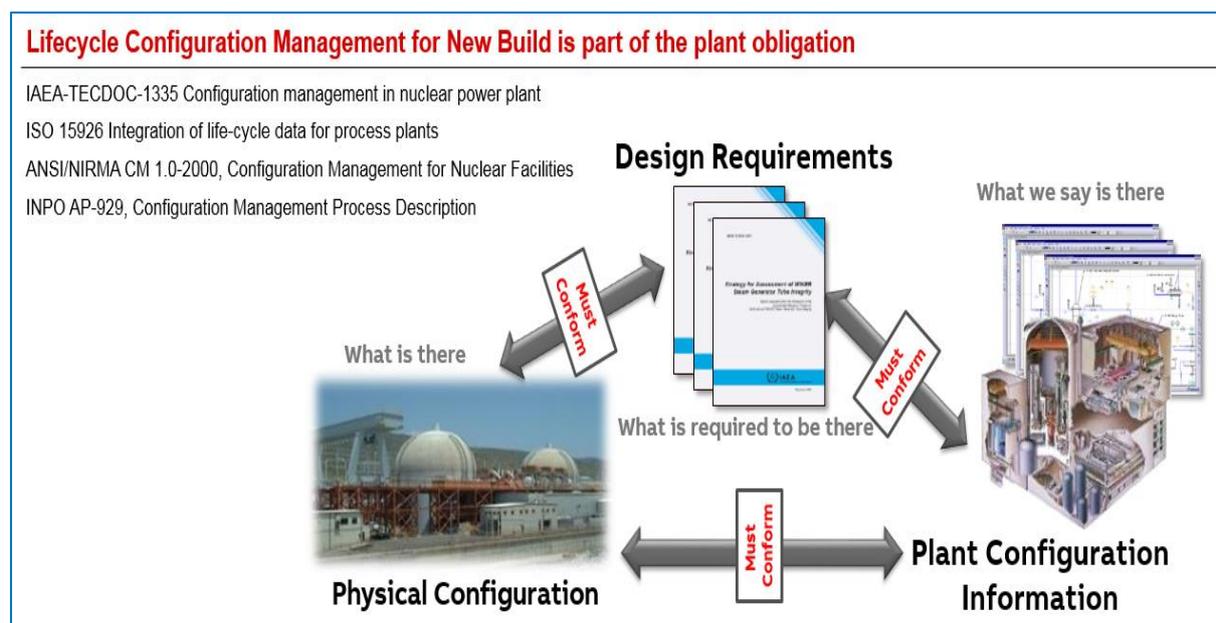
L'excellence opérationnelle passe par une maîtrise des installations nucléaires et de toutes les actions et événements qui s'y produisent avec une analyse du retour d'expérience. Dans son guide de bonnes pratiques [ NISD 2015 ] Paul Newman - Directeur de la sûreté nucléaire - EDF Energy Nuclear Generation UK, précise en préface : « *L'utilisation du retour d'expérience et d'analyses, ainsi que la recherche d'une amélioration continue, sont largement reconnues comme faisant partie intégrante d'une forte culture de sûreté opérationnelle au sein de l'industrie nucléaire. Cependant, toute expérience opérationnelle acquise en interne ou en externe dans une organisation doit être analysée et mise en œuvre de manière systématique et efficace afin d'améliorer les performances futures* ».

Conformément aux recommandations de l'INPO et du modèle de gestion SNPM, évoqué aux paragraphes précédents, l'analyse des événements et des données enregistrées constituent les bases d'une démarche vertueuse d'amélioration continue. Mais elle s'appuie sur l'enregistrement systématique des événements et données dans un référentiel central unique, où ils peuvent être lus, analysés, restructurés puis diffusés dans le cadre du processus de traitement. La disponibilité d'un tel système complet permet aux informations d'être facilement accessibles à toutes les parties intéressées, ce qui favorise la mise en place d'un programme de gestion de la fiabilité et sûreté d'équipements et des systèmes critiques.

### 11.2.3 Améliorer la sûreté par la gestion de la configuration

Pour permettre d'améliorer les possibilités d'analyse comparative entre réacteurs et entre exploitants, le NEI a mis au point un modèle de gestion standard (voir 9.3.1). Le modèle fournit une méthode permettant de définir avec précision chaque processus et est la base de l'exploitation d'une installation nucléaire. Il repose sur le savoir-faire technique, appuyé par un système de gestion de la performance bien intégré, une bonne culture organisationnelle, dans laquelle des aspects importants de la sécurité, de la fiabilité sont pris en compte ainsi que les préoccupations économiques.

Les principes de gestion de la configuration ont été définis par les industries militaire et aérospatiale à la fin des années 50 début 60. Sa pertinence pour l'industrie des centrales nucléaires a été reconnue dès le départ et a été adoptée sous diverses formes lors de la mise en service des centrales nucléaires. Au fil des années, la gestion de la configuration a évolué vers une discipline sophistiquée, avec pour objectif unique de veiller à ce que les centrales nucléaires soient construites, exploitées et maintenues conformément aux licences de conception et de construction délivrées par les autorités de régulation. Les informations relatives à la configuration des installations doivent être actualisées pendant la construction et l'exploitation jusqu'au démantèlement, ultime étape du cycle de vie de la centrale.



Source NEI ABB/Michel Vouille

Figure 19 - Gestion de la configuration – une obligation réglementaire

La figure 19 résume les exigences en matière de gestion de configuration. En termes simples, c'est un ensemble de programmes et processus nécessaires pour garantir que les exigences nucléaires de la conception (As Design) définies dans la licence sont documentées et reportées dans l'installation physique de la centrale (As Built) et que l'installation est correctement décrite dans les plans, schémas et dans la documentation de la centrale. Cela inclut également les procédures de gestion et de mise à jour du système d'information et les modifications des installations tout au long du cycle de vie de la centrale. Les indicateurs de performance sont suggérés comme un moyen de surveiller l'état actuel de la gestion de la configuration d'une centrale et de mesurer le niveau de maturité des procédures. Des évaluations périodiques doivent être effectuées pour mesurer l'efficacité de tous les éléments du programme de gestion de la configuration.

Les obstacles à la gestion de la configuration résultent non seulement du volume considérable de données à saisir, à gérer et à interpréter, mais également de l'absence de normes ou standard de gouvernance des données permettant de les capturer, à commencer par les processus de conception et d'ingénierie, puis de les transmettre à chaque processus ultérieur pendant tout le cycle de vie de la centrale nucléaire.

### Les incidents nucléaires liés à la gestion de configuration

L'évolution et la mise en œuvre de pratiques rigoureuses de gestion de configuration permettant l'amélioration de la performance opérationnelle, a été façonnée par une série d'incidents, d'accidents et d'événements survenus dans un certain nombre de centrales nucléaires. Le tableau vi ci-après récapitule les principaux d'entre eux.

Tableau vi - Liste des évènements nucléaires US liés à la gestion configuration

Exploitant	Evènement / ( Extrait des bulletins du NUREG et NRC )
Tennessee Valley Authority (TVA)	<b>Mars 1975 - Browns Ferry</b> - Un incendie a endommagé plus de 1600 câbles de commandes pour les trois réacteurs du site entraînant la désactivation des systèmes de refroidissement centraux. Cet événement a révélé des faiblesses majeures dans la conception et le non-respect des règles de la protection incendie lors de travaux de maintenance.
Public Service Enterprise	<b>Février 1983 - Salem</b> – Arrêt automatique du réacteur sans chute des barres de contrôle – 2 disjoncteurs n'ont pas réussi à s'ouvrir lié à des problèmes mécaniques. Les analyses ont démontré une attention insuffisante aux

Exploitant	Evènement / ( Extrait des bulletins du NUREG et NRC )
group (PSEG)	informations fournies par les fabricants et un programme de maintenance préventive inefficace.
First Energy Corporation	<b>Juin 1985 - Davis-Besse</b> – La centrale a subi une perte partielle du circuit d'alimentation en eau de refroidissement alors qu'elle fonctionnait à 90% de sa puissance. Puis, après l'arrêt du réacteur, une perte de tout le circuit de refroidissement. L'évènement impliquait plusieurs dysfonctionnements d'équipements et des erreurs de l'opérateur en salle de contrôle.
Philadelphia Electric Cie (PECo)	<b>Mars 1987 - Peach Bottom</b> – Suspension de la licence et arrêt des unités 2 et 3 en raison de plusieurs dysfonctionnements du circuit de refroidissement et non-respect caractérisé par le personnel des procédures de travail en salle de contrôle pendant les phases de production.
Northeast Utilities (NU)	<b>1990 - Millstone Unit 1</b> – perte de 2 barres de combustible irradié, lié au non respects des processus d'inventaire, au contrôle et à la classification des déchets radioactifs spéciaux. L'évènement a mis en évidence la faiblesse de l'organisation, de la coordination et une supervision incohérente des opérations.

Source Michel Vouille

Au travers de ces différents incidents, on peut constater que si la vision complète de la conception (As-Design) des équipements de la centrale ne peut être connue ou comprise, cela augmente le risque de divergence avec la vision réelle (As-Built<sup>50</sup>) de la centrale. Ce risque est augmenté lorsque les données sont réparties dans plusieurs systèmes d'informations ou applications. Elles continueront d'augmenter au fur et à mesure que des modifications des installations seront réalisées. Elles introduiront non seulement un risque de conformité réglementaire, mais également des risques potentiels pour la sûreté nucléaire du fait de l'érosion des marges d'exploitation ou de l'exploitation de la centrale en dehors des limites de la conception. Par ailleurs, après plusieurs années Il serait pratiquement impossible pour une centrale d'obtenir une extension de licence sans pouvoir démontrer l'efficacité et la cohérence de sa gestion de configuration.

Après l'accident de Fukushima, faute d'avoir pu démontrer aux autorités de régulation japonaises que les exploitants disposaient d'un système d'information et d'une base

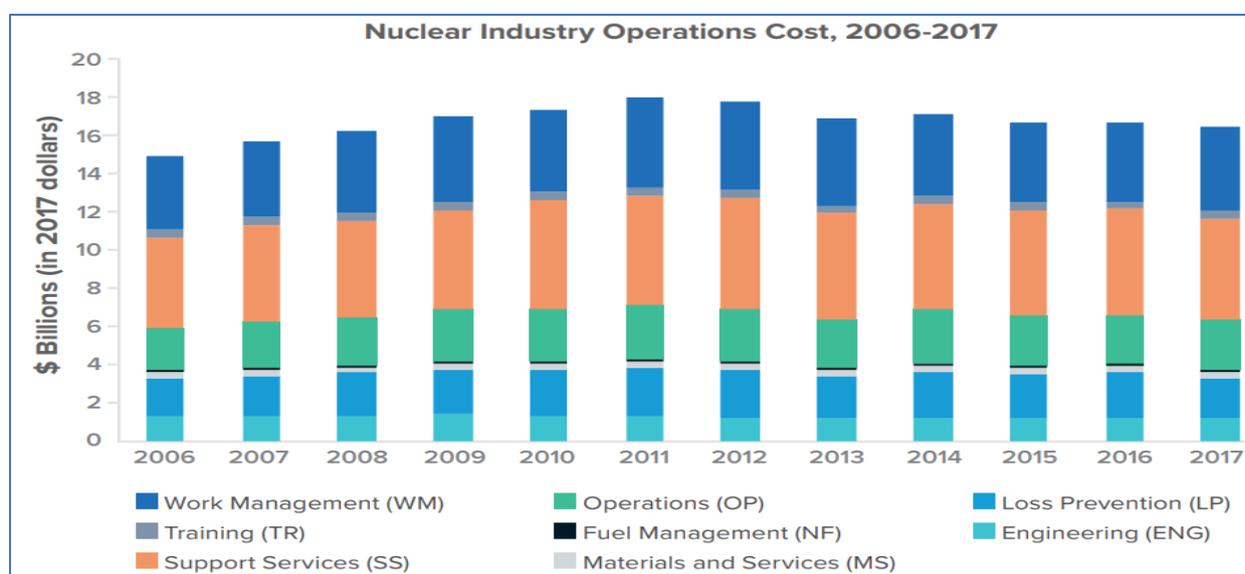
<sup>50</sup> Tel que construit

documentaire décrivant les installations telles que conçues (As Design), les autorités ont formulé des exigences de sûreté plus strictes qu'ils ont imposé à toutes les centrales en exploitation. Ceci devient donc un prérequis pour la mise en œuvre des modifications avant de pouvoir obtenir l'autorisation d'exploiter à nouveau.

#### 11.2.4 Optimiser - réduire le coût de production du MWh

Le rapport du NEI sur les coûts des centrales nucléaires américaines [ NEI 2018.b ] indique que la gestion des coûts des installations vieillissantes nécessite de nouvelles approches qui ne peuvent pas se résumer simplement en maintenance ou en remplacement d'équipement. Le parc nucléaire Américain est le plus âgé avec une moyenne de 39 ans comparé au parc Européen-33 ans ou Asiatique-19 ans (source ABB-IAEA-PRIS). Presque 85% des réacteurs Américains ont obtenu une extension de licence d'exploitation à 60 ans, après avoir réalisé des travaux importants (remplacement des couvercles de cuves, générateurs de vapeurs, travaux de modernisation et Post-Fukushima, amélioration de la sécurité des sites).

Le coût total du MWh nucléaire comprend plusieurs postes qui peuvent varier d'un pays à un autre mais dans lequel le coût du combustible représente environ 20% du coût total d'exploitation.



Source NEI 2018 Nuclear Costs in Context. Bulletin, NEI.

Figure 20 - Répartition des dépenses opérationnelles (Réacteurs USA 2006-2016)

La figure 20 extraite du dernier bulletin du NEI 2018, concernant l'analyse des coûts de production [ NEI 2018.b ] montre la ventilation des autres coûts hors combustible.

L'augmentation totale des coûts d'exploitation du parc nucléaire américain entre 2006 et 2011 est directement liée aux modifications réalisées dans le cadre de l'extension de la durée d'exploitation à 60 ans. On note une baisse des dépenses de 2013 à 2017 d'environ 10% par rapport au pic de 2011 qui diminue après la mise en œuvre des travaux post-Fukushima. On peut aussi remarquer que 4 postes représentent systématiquement 80% des coûts hors combustibles et investissements en capital : Méthode et planification (WM), Maintenance et Service Support (SS), Conduite (OP) et l'Engineering (ENG). Ces 4 domaines représentent également 80 % des flux d'informations mesurés par ABB sur la base des transactions réalisées sur les applications de gestion de l'activité de maintenance (EAM) d'ABB sur les centrales américaines.

Le programme « Delivering the Nuclear Promise » évoqué au (0), cible une réduction de 30 % des coûts de production au-dessous de \$40 / MWh, (base 2012) pour atteindre 28 US\$/MWh. Le programme a déjà mis en œuvre une série d'actions pour mieux organiser et simplifier le fonctionnement des réacteurs.

#### 11.2.5 [Capitaliser les connaissances](#)

Le rapport du NEI [ NEI 2018.b ] montre que le poste de formation se situe aux environs des 3% des dépenses annuelles d'exploitation. Ces coûts représentent l'ensemble des moyens mis en œuvre par une centrale nucléaire pour former ses agents au maintien des compétences, pour former les nouveaux arrivants aux processus applicables, pour former les sous-traitants qui doivent intervenir ponctuellement sur le site aux règles de sécurité.

Ces formations sont complétées par des formations détaillées et rigoureuses, elles sont accompagnées de programmes d'évaluations et d'exercices en situation réelle sur simulateur de la salle de contrôle, ou éventuellement dans des répliques partielles du réacteur permettant de vérifier les connaissances acquises par des exercices quasi réels. Mais si ces formations sont efficaces, il est beaucoup plus difficile de transférer aux nouveaux arrivants les années d'expérience et de connaissances acquises par les agents qui vont quitter l'entreprise.

La mise en œuvre de solutions dédiées à la gestion de l'activité maintenance, conduite, ou engineering est une solution déjà utilisée par de nombreux exploitants

pour essayer de capitaliser l'expérience acquise par le personnel. Cela permet également de documenter les pratiques métiers et guider les nouveaux arrivants par des procédures dynamiques (workflow<sup>51</sup>) en fonction des situations rencontrées, encore faut-il que les différents systèmes soient suffisamment connectés les uns aux autres.

Depuis longtemps, les exploitants confrontés aux difficultés de partage de l'information ont mis en place de nombreuses étapes de vérification, contrôle et approbation. Celles-ci pourraient certainement être allégées avec un système d'information intégré avec toutes les applications périphériques.

### 11.2.6 Harmoniser les cultures dans l'organisation

Dans les organisations de centrales nucléaires, chaque département ou groupe partage la culture de la sûreté nucléaire, mais ils ont leurs spécificités en ce qui concerne leurs domaines, activités et connaissances. Les processus-métiers, les installations ou les données sont perçues et utilisées en fonction des rôles et des compétences de chaque groupe. Le tableau vii montre que chaque intervenant peut avoir un accès et un usage de la même donnée. Il est également reconnu que l'ingénierie utilisera principalement l'application PLM, tandis que la maintenance utilisera l'EAM car les informations y sont intégrées de manière native aux autres processus nécessaires aux agents pour leurs activités de maintenance. Cela se traduit par un volume important de données dupliquées qui doivent rester synchronisées.

*Tableau vii - Usage / contributions des données par groupe d'utilisateurs et domaine*

Objet de données	Groupe Maintenance	Groupe Conduite / exploitation	Groupe Ingénierie
Équipement, système ou installation	Après l'installation, maintenir l'équipement dans sa configuration opérationnelle.	Utiliser et surveiller la performance de l'équipement.	Concevoir, fournir, l'équipement puis maintenir sa configuration.
Configuration des installations	Après l'achèvement de tous les travaux, mise à jour de la configuration y compris sur les pièces de rechange.	S'assurer que la configuration physique de l'équipement correspond à celle de conception.	Maintenir la version de la configuration de conception selon les exigences nucléaires.

<sup>51</sup> Flux de données informatisées pouvant inclure des étapes manuelles d'utilisateurs

Objet de données	Groupe Maintenance	Groupe Conduite / exploitation	Groupe Ingénierie
Compte rendu de fin de travaux	Mise à jour de la maintenance préventive des installations dans l'EAM et calcul de fiabilité des équipements.	Indique que l'équipement est prêt pour les tests afin de revenir à la configuration d'origine.	Mise à jour de la configuration de conception selon les travaux réalisés.
Contrôles de conformité	Permet à la maintenance de vérifier que les travaux ont été terminés comme prévu.	Informe la conduite de la fin des activités de maintenance.	Informe l'ingénierie de la fin des activités de maintenance.
Schémas de tuyauterie et d'instrument (P & ID)	Permet l'analyse d'un éventuel défaut d'un équipement en fonction d'un événement documenté.	Préparation et mise en régime et aide à résoudre les anomalies signalées.	Mises à jour des plans selon les travaux réalisés. Etude des liaisons fluides.
Permis d'Access, feu, Consignation	Pour la sécurité du personnel et l'isolation des équipements et fluides sous-pression. Nécessaire à la planification.	Pose des consignations selon les règles de sûreté nucléaire. Mise à jour de la configuration initiale.	Éléments des exigences nucléaires d'exploitation et d'engineering.
Test des conditions du système	Comparer les conditions requises des installations après la maintenance avec les valeurs de référence.	Suivi des tendances et courbes de performance des équipements Accepter / rejeter les résultats du test.	Analyser l'évaluation de la dégradation éventuelle des performances.

Source Michel Vouille

## 11.3 Les enjeux tactiques d'un SI nucléaire intégré

### 11.3.1 Réduire le coût d'exploitation des systèmes d'information

Les systèmes d'information des centrales nucléaires en exploitation depuis plus de 40 ans ont été construits avec un objectif de gestion des coûts incluant les budgets, les stocks et les approvisionnements. Puis progressivement, les autres applications couvrant la maintenance, la conduite des installations etc..

Dans le cas où l'un des groupes de l'organisation (décrite au 9.1 ) est propriétaire ou responsable des données et de leurs utilisations, certaines informations resteront inaccessibles aux autres parties de l'organisation, à moins qu'elles ne les dupliquent ou construisent des intégrations complexes. Dans la plupart des cas, c'est cette dernière option qui est retenue car il n'a pas été possible de faire évoluer l'architecture informatique vers un mode intégré et collaboratif. Les exploitants dépensent alors beaucoup d'argent et d'efforts en ressources et personnels informatiques supplémentaires dédiés au partage, à la vérification et la saisie de données.

Les centrales nucléaires plus récentes ont engagé un processus de consolidation de plusieurs domaines applicatifs existants dans quelques grandes applications d'entreprises. La figure 21 montre l'évolution de ces systèmes vers un mode plus intégré et collaboratif qui simplifie les échanges de données.

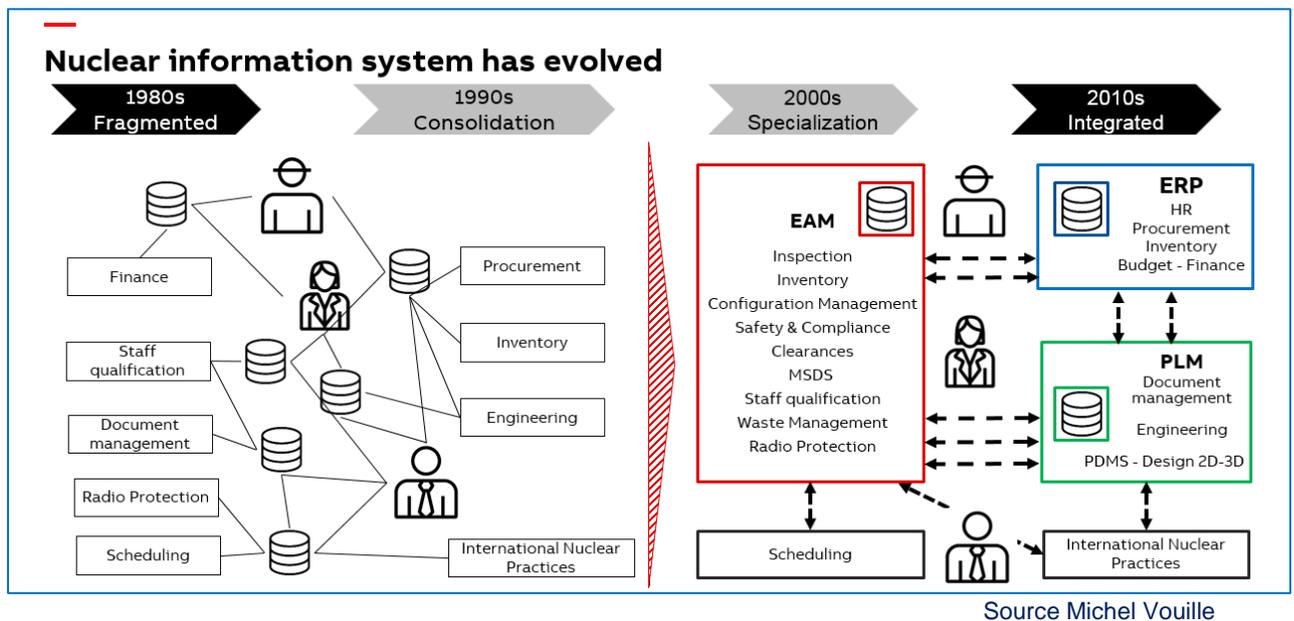


Figure 21- Evolution des systèmes d'information en vision intégrée

Ces centrales disposent d'une infrastructure informatique plus moderne qui leur permet d'améliorer la communication entre les applications et pour l'ensemble des acteurs de la centrale nucléaire. Chaque application et son domaine est connecté à un bus qui permet l'échange de données, la mise à jour en temps-réel ainsi que le traitement de workflow inter domaine. Les exploitants nucléaires ayant mis en œuvre ce type de système d'information ont gagné en efficacité et en précision des données.

Il est important de noter que les technologies nouvelles offrent désormais des outils efficaces pour gérer ces messages, workflow métiers et données. L'entreprise doit parfois adapter ses processus de travail pour accéder aux données indispensables aux utilisateurs. Malheureusement les départements informatiques manquent souvent de personnel et travaillent avec des budgets limités. Par conséquent, le traitement des données dans l'ensemble de l'organisation reste un défi majeur.

### 11.3.2 Améliorer la qualité et les interopérabilités

Lorsque l'on évoque qualité des données et interopérabilités il faut comprendre inefficacité des systèmes informatiques, des interfaces et processus d'échanges

d'informations ou défaut dans la qualité des données. En 2004, le NIST<sup>52</sup> a estimé dans son rapport [ NIST 2004 ] que les services informatiques avaient plus de difficultés à garantir la qualité des données lorsque les informations étaient réparties sur plusieurs applications et silos. La situation actuelle n'est guère différente et se complique encore plus lorsque ces données sont gérées dans des formats propriétaires qui empêchent ou rendent difficile le partage d'informations et renforcent les silos.

Ce coût d'interopérabilité et de non qualité concerne pour les 2/3 la construction et l'exploitation des installations. Il comprend notamment les points ci-dessous :

- Les coûts liés à la mauvaise préparation, planification et exécution des travaux,
- La reprise des travaux et correction des erreurs liées à des données erronées,
- La faible réactivité de l'organisation liée à l'absence d'information (ou différée),
- La communication inutile ou superflue et les coûts des interfaces papiers,
- La double saisie, reconstruction et vérification des données.

#### Analyse des gains potentiels

ABB a pu constater, lors des conférences des utilisateurs de 2013 et 2014, que la productivité et l'efficacité des interfaces restaient encore à améliorer. Les exploitants estimaient le coût de ces inefficacités à 10-15% du coût d'exploitation. Pour vérifier cette hypothèse il faut reprendre les conclusions du rapport NIST et les comparer aux estimations des coûts d'exploitation calculés par EUCG dans le rapport du NEI [ NEI 2018.b ] :

- Le NIST indique que les coûts de la qualité des données et l'inefficacité de l'interopérabilité représentent 1% annuel du coût de construction initial,
- Sachant que les réacteurs US ont été construits entre 1970-1990 avec un coût de construction de \$2,3 Milliards (valeur 2017), le coût est de \$23 Millions par an,
- Les 2/3 du montant sont à la charge de l'exploitant soit \$15 Millions annuel,
- Sachant qu' en moyenne une centrale nucléaire fonctionne 7000h par an et que la moyenne de puissance des réacteurs USA est 1000 MW, avec un taux de charge moyen de 95%, la production annuelle est de 6.650.000 MWh par réacteur,
- Le coût d'exploitation hors combustible et investissement capital était \$20,43 par MWh (2017), soit un coût moyen réacteur de \$135 Millions par an,

---

<sup>52</sup> Le National Institute of Standards and Technology – est une entité US Department of Commerce

- Le coût de l'inefficacité des systèmes et interopérabilités représente environ 11% des coûts d'exploitation. Donc l'estimation des clients d'ABB est conforme,
- Si l'on considère que 80% des coûts d'exploitation sont portés par les 4 domaines : Méthodes - Planification, Maintenance - Service Support, Conduite et Engineering, le coût d'inefficacité des interfaces représente \$11 Millions par réacteur et par an.

Les services informatiques et les exploitants nucléaires doivent prendre en compte les conséquences sur la perte, l'inaccessibilité ou l'incohérence des données qui sont gérées par des systèmes vieillissants ou réformés. La plupart du temps, s'agissant de données critiques, elles ont un impact sur la sûreté de la centrale et sur sa conformité avec les exigences nucléaires délivrées par l'autorité de sûreté nucléaire nationale.

### 11.3.3 Réduire les coûts de construction et de commissionnement

L'intégration des systèmes en silos que représentent l'EAM et le PLM permettront d'améliorer de manière significative les échanges et le partage des documents entre l'Engineering, l'EPC et l'exploitant. Nous avons déjà précisé dans les chapitres précédents les risques importants liés à l'absence ou la faible communication des données de construction vers les autres acteurs de la centrale. L'une des phases les plus critiques dans le projet est la phase de prédémarrage opérationnel (Pre-Startup) qui regroupe les activités suivantes :

- Chargement des données de conception (AS-Design) dans l'EAM,
- Préparation des plans de tests des installations à transférer à l'exploitant,
- Validation par l'exploitant des documents de construction (AS-Built) par l'EPC,
- Validation par l'exploitant des documents d'exploitation et de maintenance,
- Réalisation des tests par l'EPC, l'exploitant et les autorités de sûreté nucléaires,
- Validation des tests et justifications des écarts et approbation des autorités,
- Chargement des résultats dans l'EAM pour définir la configuration de référence.

### Analyse des gains potentiels

Il est vraisemblable que les gains de productivité apportés par un environnement collaboratif pendant la phase de commissionnement soient du même ordre que ce qui est constaté par la mise en œuvre de l'EAM pour l'exploitation et la maintenance des centrales, soit environ 15%. La phase de commissionnement, test et recette, étant sur

le chemin critique avant que la centrale ne produise de l'électricité, chaque jour de retard peut être calculé de la façon suivante :

- Les nouveaux réacteurs ont une puissance moyenne de 1500-1600 MW, exploités sur une base de 7000h par an avec un taux de charge de 90%,
- Soit 27.600 MWh par jour à un prix de vente moyen de 40€/MWh (base ARENH). Chaque jour de retard représente environ 1,1 Million d'Euros en perte de revenus,
- 2 ans sont nécessaires pour la phase de tests, soit un gain potentiel de 110 jours sur 730 jours soit 120 Millions € de revenus + les coûts des jours de tests non réalisés et économisés.

En 2011, l'EPRI a rassemblé dans un rapport les leçons tirées de l'analyse de plusieurs constructions de centrales nucléaires dans le monde. Près de la moitié des recommandations concernent les procédures, stratégies, et technologies de tests. Un point particulier d'attention est mis sur les systèmes d'informations qui peuvent permettre d'obtenir une meilleure optimisation des tests de commissionnement.

#### 11.3.4 Créer de la valeur via les nouvelles technologies

Comme avec le e-business dans les années 1990, les nouvelles technologies entrent dans les industries pour stimuler l'innovation. Le nucléaire n'échappe pas à cette tendance. Les paragraphes précédents nous ont appris que l'absence d'intégration alourdit l'ingénierie et la synchronisation des données, ce qui impacte négativement la qualité, la performance et les délais de réalisation.

#### Le jumeau numérique

Un jumeau numérique peut être vu comme la modélisation numérique en 3D d'un système physique qui reflète en temps réel le comportement de la centrale nucléaire. Depuis plusieurs années, ABB a mis en œuvre chez ses clients des systèmes de contrôle commande permettant de surveiller l'état réel (marche, arrêt, ouvert, fermé) des composants de l'installation. Les EPC et Engineering exploitent déjà les technologies de CAO/DAO 3D pour étudier et modifier les installations avant de produire un dossier de réalisation destiné à l'EPC ou l'exploitant. Plus récemment, les exploitants nucléaires s'y sont intéressés pour faciliter le diagnostic, la préparation de travaux ou la conduite des installations. Parmi ces possibilités on notera :

- Exploration des bâtiments, installations et équipements en zones contrôlées,
- Recherche, analyse de la conception des équipements complexes,

- Identification des interdépendances d'équipements, fluides, énergies,
- Etude des scénarios de déplacement des gros équipements,
- Gestion de l'espace en bâtiment réacteur.

Le prérequis est de disposer d'un modèle 3D des installations. Celui-ci peut avoir été réalisé soit directement par des outils de CAO en 3D, soit par Laser Scanning<sup>53</sup>. L'objectif est de disposer d'un modèle numérique conforme à la réalité. Ce modèle peut être enrichi par les données venant de la salle de contrôle, pour y indiquer l'état physique des équipements et être complété par les données de l'EAM sur les activités de maintenance et l'historique de chaque équipement. A terme, le jumeau numérique pourra inclure des outils d'aide à la décision ou d'intelligence artificielle pour mieux gérer les installations et créer des modèles de simulation numérique qui se mettent à jour au fur et à mesure que les installations physiques changent.

#### Analyse des gains potentiels

C'est à l'occasion d'une rencontre avec l'ex-directeur de projet de la centrale américaine de San Onofre que nous avons pu estimer les gains potentiels de la 3D. En effet l'exploitant a décidé d'utiliser le modèle 3D du bâtiment réacteur pour planifier le remplacement du générateur de vapeur (GV) et du déplacement de ses 620 tonnes avec le pont polaire. La simulation effectuée avec les outils Dassault Systèmes avec une précision de l'ordre du cm, a décelé un conflit avec un échafaudage interne au bâtiment réacteur. Sans cette simulation, les opérations auraient dû être suspendues pendant plusieurs mois, avec de longues études et validation par les autorités de sûreté nucléaire). Dans ce cas de figure, l'impact potentiel aurait été supérieur à \$30 Millions.

**Note :** Le remplacement des GV des tranches 2 & 3 en 2009-2010 était motivé par un encrassement anticipé des tubes en U des GV. Mais dès 2012 l'exploitant a constaté des fuites importantes sur les GV nécessitant l'arrêt du réacteur 3. L'enquête menée conjointement par le NRC et l'exploitant a montré une défaillance de la conception et des tests par le fabricant Mitsubishi. Ce problème de gestion de la configuration a conduit à un arrêt définitif des 2 réacteurs avec des conséquences financières importantes pour l'exploitant nucléaire et Mitsubishi.

---

<sup>53</sup> Procédé de reconstitution d'un modèle numérique 3D par la transformation de nuages de points effectués par des scan laser 3D depuis différentes parties des installations

## Réalité augmentée et lunettes intelligentes

Les techniciens qui interviennent sur le terrain utilisent leurs mains pour travailler et se stabiliser en hauteur ou réparer des équipements sur le sol ferme. ABB a déjà expérimenté des lunettes intelligentes et la réalité augmentée, permettant aux techniciens d'avoir toujours les mains libres au lieu de tenir un stylo, des documents ou des périphériques. Lorsqu'ils doivent consulter des schémas ou des appareils mobiles, ou pour transcrire les lectures d'inspection, les techniciens doivent suspendre le processus de travail et perdre en efficacité - ou tenter de faire les deux en même temps et sacrifier la sécurité.

Avec une connexion à l'EAM, les techniciens peuvent afficher les détails des ordres de travail ou les schémas, enregistrer des données, voire discuter en direct avec leurs collègues, le tout à l'aide de commandes vocales intuitives. Ainsi, ils peuvent garder les mains et l'esprit concentrés sur l'objet de l'intervention en toute sécurité. Les gains identifiés par l'expérimentation d'ABB sur les interventions réalisées dans les réseaux de distribution et de transport d'électricité sont résumés ci-après :

- Consultation en ligne des bons de travaux, des plans et données de l'équipement, à tout moment, afin de guider les techniciens tout au long de l'intervention,
- Moins d'erreurs / allers-retours sur le lieu de l'intervention - assistance à la localisation de l'équipement - discussion, confirmation avec les bureaux,
- Moins de travaux à reprendre - les interventions sont bien réalisées en une fois, le technicien peut être guidé pas à pas selon les opérations à effectuer,
- Saisie du compte rendu, avec photos et enregistrements sur le lieu de l'intervention au lieu de tout mémoriser pour les reporter plus tard au bureau.

## 12 Définition des cas d'usages pour le SI nucléaire

L'étude des cas d'usages a été réalisée en collaboration avec Dassault Systèmes. Le principe de cette activité a consisté en l'analyse des couvertures fonctionnelles des produits du portfolio d'ABB et Dassault Système, la faisabilité d'un arbitrage sur les éventuels recouvrements fonctionnels, la détermination des cas d'usages transverses entre l'engineering et l'exploitant pendant la durée de vie de la centrale nucléaire, démantèlement y compris. Et enfin, la valorisation de chacun de ces cas selon des critères objectifs basés sur l'existence ou non d'une solution similaire sur le marché, le caractère innovant, la difficulté de réalisation et la valeur de la solution pour le

processus métier du client. Chacun de ces critères est valorisé de 1 à 5 et résumé dans le tableau viii ci-après. Le résultat étant le somme de ses 4 critères.

Tableau viii - Critères d'évaluation applicables aux des cas d'usages

	Existe sur le marché Coef 2	Valeur pour le client - Coef 4	Difficulté de réalisation Coef 3	Critère innovant Coef 6
Code	Ext	Val	Dev	Inov
1	n solutions complètes	Très faible	Très complexe	Commun
2	1 solution complète	Faible	Complexe	Moyen
3	n solutions partielles	Moyenne	Moyen	Neutre
4	1 solution partielle	Bonne	Simple	Bon
5	N'existe pas	Très bonne	Très Simple	Extraordinaire

Source Michel Vouille

L'étude des cas d'usages a été réalisée en réunion atelier regroupant des experts logiciels (PLM ou EAM), des consultants ayant la connaissance des procédures de l'engineering et de l'exploitant en milieu nucléaire, un ancien client expert en système d'information nucléaire, les représentants de la R&D ABB et Dassault Systèmes.

## 12.1 Les hypothèses

La première des tâches a été de définir les hypothèses de travail pour qualifier les cas d'usages. Certaines ont été supprimées ou modifiées en fonction des retours clients.

### Correspondance référentielle des équipements entre le PLM et l'EAM

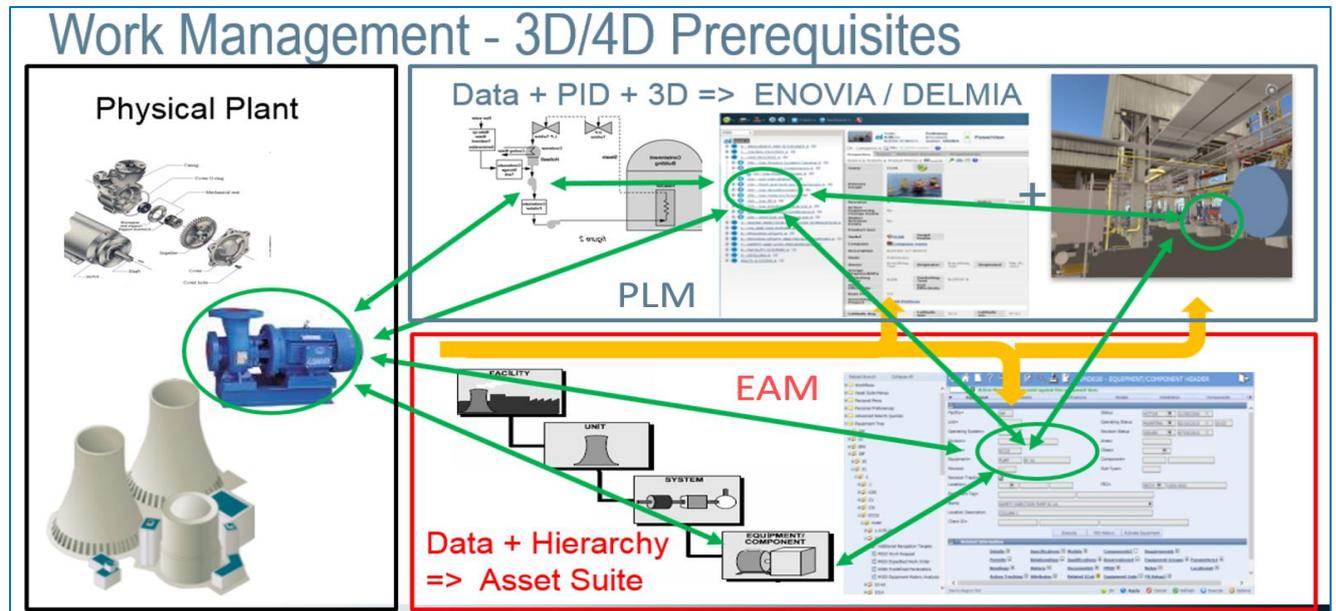
Le prérequis à tous les cas est l'existence d'une correspondance relationnelle entre la base de données équipement de l'EAM et du PLM. Il faut, au minimum, une référence commune pour établir un lien entre les 2 domaines. Celle-ci est représentée par la figure 22 et créée par le chargement des données, des équipements et locaux du PLM dès que la conception est validée par l'engineering (dans le cas du nouveau réacteur ou de modification importante), ou par une extraction de l'EAM de l'exploitant en cas de rétro-ingénierie.

### Créer un différenciateur pour ABB-Dassault Systèmes

Il doit créer un avantage technologique et fonctionnel par rapport à la concurrence permettant de vendre plus facilement ou plus tôt les solutions des éditeurs.

## Utilisation d'un produit ABB + Dassault Systèmes

Le cas d'usage doit utiliser un produit ABB et un produit du portfolio 3D de Dassault Systèmes, avec ou sans produits tiers autres que ceux d'ABB et Dassault systèmes.



Source Michel Vouille

Figure 22 - Prérequis : Correspondance référentielle entre le PLM et l'EAM

## Représenter une valeur pour le client

Le cas d'usage doit représenter un intérêt pour le client nucléaire, sous la forme d'amélioration de la productivité, de la qualité des données, de la sûreté (par exemple réduction de la dose individuelle reçue par les agents).

## Standard et technologies

L'intégration ne doit pas altérer le fonctionnement autonome des produits, elle doit être basée sur la technologie Web Services – Microservices, elle doit respecter les standards ISO-15926 et doit être conforme à INPO AP929, AIEA TECDOC-1335 et suivants.

### 12.2 Synthèse des cas d'usages

Le tableau ix représente les cas d'usages étudiés qui remplissent les hypothèses ci-dessus. Le document d'origine en anglais figure en annexe. Les trois cas d'usages ayant le résultat le plus élevé ont été retenus.

Tableau ix – Synthèse des cas d'usages étudiés dans le cadre de l'intégration PLM-EAM

Grp	Cas d'usage	Ext	Val	Dev	Inov	Res
Formation Maintenance.	Familiarisation 3D (3D Job Understanding)	2	3	3	4	49
	Possibilité d'accès à 3DVIA pour appréhender la réalisation d'une tâche de maintenance spéciale (éventuellement en zone contrôlée) afin de s'assurer que les agents exécuteront le travail correctement. Un scénario de formation peut être élaboré à l'avance pour chaque opération répétitive. La solution peut être utilisée en mode test formation et tracera les erreurs de l'utilisateur et envoyée vers le système de formation (LMS) de l'opérateur ou du personnel de maintenance.					
Formation Maintenance.	Formation 3D (3D Serious Game Training)	3	3	5	4	57
	Possibilité d'accès à 3DVIA depuis Asset Suite pour vérifier que l'agent dispose des compétences nécessaires à la réalisation d'une tâche de maintenance spéciale (éventuellement en zone contrôlée). L'EAM envoie les informations du dossier de réalisation : le ou les équipements, l'action (ouvrir, fermer, maintenir) et la séquence de réalisation. Possibilité d'accès à 3DVIA pour appréhender la réalisation d'une tâche de maintenance spéciale (éventuellement en zone contrôlée) afin de s'assurer que les agents exécuteront le travail correctement. 3DVIA reconnaît la position géographique des équipements ainsi que le chemin recommandé entre les différents équipements. Le système propose 3 modes (Démonstration, pratique et test). En mode test, le résultat peut être envoyé vers le système de formation (LMS) pour qualifier l'utilisateur. Un scénario de formation peut être élaboré également pour la formation préalable des agents ou sous-traitant intervenant sur le site pour la 1 <sup>ère</sup> fois.					
Méthode Maintenance.	Simulation d'arrêt de tranche 4D (4D Planning Simulation)	5	3	3	5	61
	Dans le cas de préparation des arrêts de tranches qui ne sont pas sous traitées à un grand donneur d'ordre (Framatome, Westinghouse, ...). Les tâches de maintenance et d'intervention doivent être planifiées par itération successive, pour vérifier l'absence de contraintes opérationnelles (état du réacteur), de contraintes d'exécution (disponibilité du pont polaire) ou de contraintes de sûreté (gérer les zones d'exclusions multiples) et bien entendu contrôler la séquence de réalisation. En cas de d'incident ou de blocage dans la réalisation de l'arrêt, si une incidence de sûreté nucléaire est identifiée, cela entraîne la suspension partielle ou totale des opérations de l'arrêt parfois pendant plusieurs mois. D'une certaine manière, cela peut être considéré comme une extension de l'innovation 1C, mais à un coût raisonnable.					
Méthode Maintenance.	Evaluation du travail 3D (3D Planning – Assessment)	5	3	3	5	61
	Dans le contexte de la planification de l'activité d'une gamme de maintenance (MOWO), bon de travail (WO) ou sur une tâche (Task). Permet la « navigation interactive » dans une vue 3D de la zone de l'équipement afin de vérifier les conditions d'exécution du WO, des mesures de sûreté / sécurité applicable, des outils, sans qu'un employé ne soit obligé de se rendre sur place (éventuellement en zone contrôlée)					

Grp	Cas d'usage (suite)	Ext	Val	Dev	Inov	Res
Méthode Maintenance.	Préparation des travaux ALARA (3D Planning – ALARA)	5	3	1	5	55
	<p>Dans le cadre de la planification de l'activité d'une gamme de maintenance (MOWO), bon de travail (WO) ou sur une tâche (Task). Permet la « navigation interactive » dans une vue 3D de la zone de l'équipement et sur la base d'un questionnaire, de comprendre et calculer la dose potentielle reçue pour le travail. 3DVIA affiche une représentation de l'émission radioactive sous la forme d'un brouillard coloré en fonction des informations enregistrées dans l'EAM par équipement et local. L'utilisateur devra alors se déplacer virtuellement en évitant les zones colorées. Utilisé principalement lors de la planification des permis de travail sous rayonnement.</p>					
	Consignation 3D (3D Planning – Clearance)	5	3	1	5	55
Collaboration engineering exploitant	<p>Lors de la préparation d'une activité de maintenance ou d'un groupe d'activité, il est fréquemment nécessaire d'isoler la partie de l'installation concernée. L'accès aux vues 2D ou 3D permettra de déterminer la liste des équipements (vannes, disjoncteurs) à manœuvrer. La solution permet de mettre en évidence l'étiquette de consignation (simple ou multiple). Lors de la navigation 3D sur une étiquette affichée, un clic permet d'ouvrir les données de l'EAM, pour afficher la liste des travaux concernés ou à affecter, la durée de consignation, etc. ... qui rentrent dans un processus d'approbation classique.</p> <p>On peut également imaginer de pouvoir poser virtuellement une étiquette de consignation sans avoir à la déposer physiquement. Soumis à autorisation de l'autorité de sûreté nucléaire.</p>					
	Références croisées PLM – EAM (TAG / 2D-PID / 3D cross Reference)	4	5	2	3	52
	<p>L'exploitant (personnel de conduite et de maintenance) a besoin d'un accès facile et efficace aux documents, et de la mise à jour des équipements et de l'installation qu'ils exploitent. L'intégration de l'EAM et PLM permet l'accès aux documents numérisés (procédure, P&amp;ID, éclaté, 2D, 3D, spécifications, exigences nucléaires, historique d'intervention / de panne. Que ce soit à partir de l'EAM ou du PLM. Cela concerne également la capacité de l'EAM d'accéder aux documents et aux données du PLM pour initier une demande de modification des installations (change Design) et / ou définir un workflow pour la revue et l'approbation d'un nouveau document.</p>					
Collaboration engineering exploitant	Source unique de donnée (Standard Template EPC-OM Doc sharing)	4	5	2	3	52
	<p>Cette innovation permet de tirer partie de la puissance du PLM en phase de conception / construction et de l'EAM en phase d'exploitation en multipliant les références au-delà des équipements. Ainsi, cela permet de maintenir la légitimité du PLM même après la construction.</p> <p>Les données PLM sont accessibles depuis l'EAM qui se trouve enrichi par les données 2D, 3D spécification, exigences nucléaires. De la même manière, les données de l'EAM sont accessibles au PLM qui peut bénéficier d'un historique des événements et activités construites tout au long de l'exploitation.</p>					

Source ABB/Michel Vouille

## 13 Vérification de la faisabilité du projet

Après avoir réalisé l'étude de la problématique du nucléaire décrite aux paragraphes précédents, défini les cas d'usages et vérifié la faisabilité technique de ces solutions, il a été nécessaire de faire une évaluation du potentiel du marché avant le lancement du développement des supports marketing et produits.

### 13.1 Définir l'approche commerciale et les cibles

Cette activité a consisté à déterminer par type de client, réacteur, et pays, quelles sont les conditions d'accès au marché. La solution doit présenter un avantage ou répondre à une problématique et permettre à ABB de vendre plus tôt les solutions d'EAM. Les points ci-dessous ont été traités mais les résultats ne sont pas communiqués dans ce mémoire pour des raisons de confidentialité :

- Finaliser la liste des clients potentiels pour valider chaque innovation,
- Leur présenter l'approche pour obtenir confirmation de « l'intérêt métier »,
- Estimer la valeur ajoutée et confirmer les conditions nécessaires d'achat,
- Engager la réalisation d'une vidéo marketing permettant de démontrer les gains,
- Estimer la stratégie de mise en œuvre (produit fini ou boîte à outils configurable),
- Valider la stratégie par un témoignage client lors de la conférence ABB 2014 et les suivantes.

#### 13.1.1 Définir les supports de présentation clients et vidéos

Cette activité est importante dans le projet mais ne présente pas d'intérêt particulier dans ce mémoire. Un exemple de présentation est joint en annexe.

3 vidéos de présentation ont été réalisées pour un usage lors des conférences ou présentations clients : « Simulation d'arrêt de tranche » ; « Commissionnement et test » ; « Formation virtuelle ».

#### 13.1.2 Recadrage des objectifs

Fin 2016, à la suite des présentations effectuées dans différents pays, un dénominateur commun est apparu qui confirme l'intérêt de l'usage des technologies 3D de simulation et navigation virtuelle intégrée avec l'EAM, mais recentre la priorité sur le référentiel unique des données du nucléaire (Master Data Management). Les retours obtenus des clients montrent que la mise en œuvre des 3 cas d'usages

présentés, nécessite au préalable l'existence d'une intégration forte entre le PLM et l'EAM. Dès lors, si cette intégration a été mise en œuvre, les cas d'usages permettant d'automatiser les flux d'information entre acteurs ont beaucoup plus de valeur pour l'engineering et l'exploitant que les cas présentés jusque-là. Nous avons donc décidé de lancer les études visant à traiter les flux de données transverses entre le PLM et l'EAM. Ils sont décrits aux paragraphes suivants.

## 14 Définition des processus cibles

### 14.1 Représenter les processus métiers du nucléaire

Cette étape du projet a consisté en la réalisation d'une synthèse des processus métiers sous la forme de flux de données et d'actions, en utilisant le standard de représentation utilisé par ABB. Le point de départ de cette activité est constitué par les documents du NEI / INPO dans sa vision du Standard Nuclear Performance Model. Le modèle décrit les différentes procédures et les meilleures pratiques applicables à toutes les phases du cycle de vie de la centrale : conception et engineering, achat et approvisionnement, construction, tests et commissionnement, exploitation et démantèlement.

Les recommandations du NEI / INPO sont regroupées par chapitre :

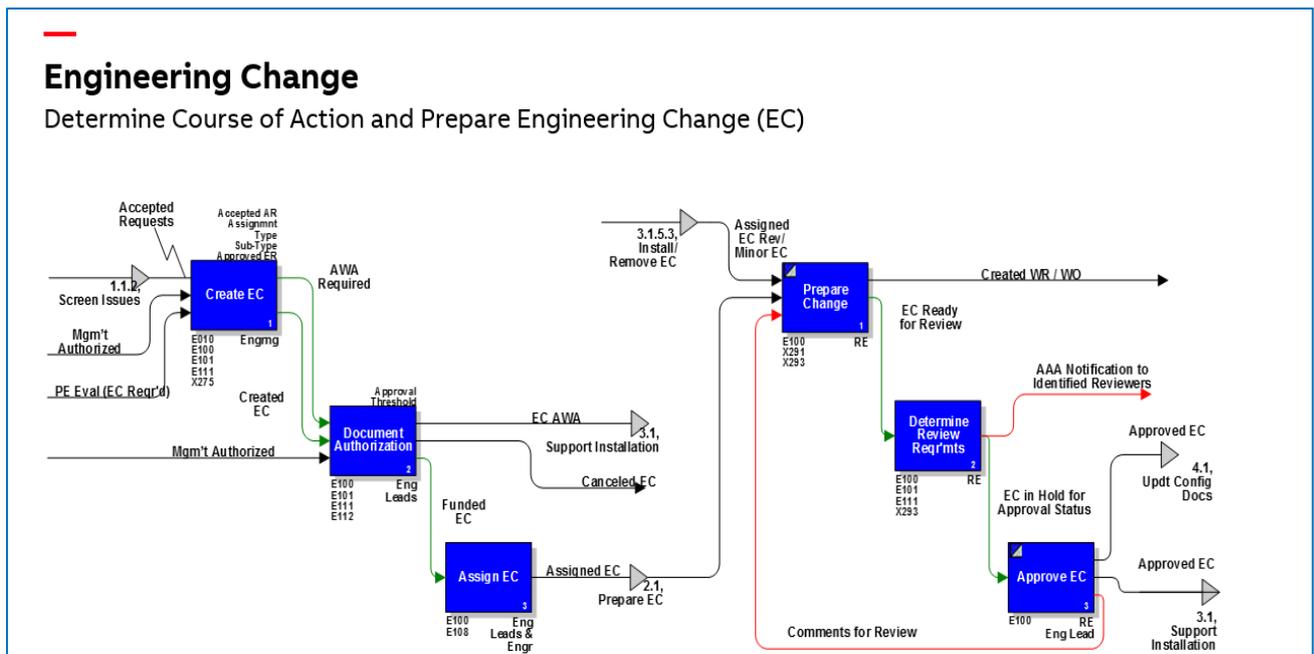
- WM001-009 : Gestion de l'activité maintenance (Work Management AP928),
- MS001-006 : Gestion des matériels et sous-traitance (Material & Services AP904),
- CM001-004 : Gestion de la configuration (Manage Configuration AP925),
- SS002 : Gestion des installations nucléaires (Nuclear Asset Management AP904),
- ER001-004 : Fiabilité des équipements (Equipment Reliability AP913),
- OP001-003 : Exploitation du réacteur (Operate Plant).

Puis, chaque chapitre est détaillé en processus et procédures. A titre d'exemple, le tableau x montre le découpage des recommandations en processus et procédures pour l'AP928 – Work Management de l'INPO.

Tableau x – Procédures de l'AP928 / WM001-009 – Work Management

WM001-009 : Work Management	
WM001 – Perform Planning	
WM3.0, Work Planning	WM3.2.1, Develop Design Engr Specs – Construction
WM3.0.1, Plan Work	WM3.2.5, Request Permit
WM3.2, Develop Planning Details	
WM002 – Perform Scheduling	
WM3.9, Schedule Work	WM3.9.1, Scheduling Crew
WM003 – Perform Preventive Maintenance	
WM6.0, Perform Preventative Maintenance	WM6.2, Perform Predictive Maintenance
WM6.1, Create PM Program	WM6.3, Create Predictive Signals, Triggers, and Trends
WM004 – Perform Corrective Maintenance	
WM4.0, Perform Work	WM5.8.1, Record of Completion Information
WM5.0, Close Work	WM5.9, Close Work Order
WM5.8, Complete Work Order	
WM005 – Maintain Non-Plant Equipment	
WM4.0, Perform Work	WM5.8.1, Record of Completion Information
WM5.0, Close Work	WM5.9, Close Work Order
WM5.8, Complete Work Order	
WM006 – Perform Plant Improvement Maintenance	
PM 0.0, Project Management Overview	PM 3.0, Monitor Project
PM 1.0, Initiate Project	PM 4.0, Close Project
PM 2.0, Approve Project	
WM007 – Monitor and Control Radiation Exposure	
TE 1.0, Configure Total Exposure	TE 7.2, Enter RCA
TE 2.0, Maintain Dosimetry Records	TE 7.4, Exit RCA
TE 2.1, In-Process Rad Worker	TE 8.0, Document Rad Work Completion
TE 2.2, Prepare TLDS	TE 9.0, Perform Internal Monitoring
TE 2.3, Prepare DRD/Eds	TE 9.1, Process Routine Bioassay Samples
TE 2.4, Prepare Multi-Packs	TE 9.1.1, Request Bioassay Sample
TE 2.5, Process Dosimetry	TE 9.1.2, Track Bioassay Sample
TE 2.6, Out-Process Rad Worker	TE 9.2, Process Routine WBCs
TE 3.0, Plan Rad Work	TE 9.2.1, Request WBC
TE 3.1, Perform Surveys	TE 9.2.2, Perform WBC
TE 3.2, Perform RWP Job Planning	TE 9.3, Process Special Bioassay Samples
TE 3.2.7, Approve RWP	TE 9.3.1, Request Special Bioassay Sample
TE 4.0, Maintain Source Inventory	TE 9.3.2, Track Special Bioassay Sample
TE 4.1, Receive Source Material	TE 9.4, Process Special WBCs
TE 4.6, Dispose of Source Material	TE 9.4.1, Request Special WBC
TE 5.0, Maintain Rad Instruments	TE 9.4.2, Perform Special WBC
TE 5.1, Receive Rad Instrument	TE 10.0, Monitor Exposure
TE 5.8, Ship Instrument Off-Site	TE 10.2, Document Exposure Investigation
TE 6.0, Maintain Respirators	TE 10.3, Maintain Extension/Restrictions
TE 6.3, Receive Respiratory Training	TE 10.6, Generate Reports
TE 6.8, Inspect/Maintain Respirators	TE 10.6.1, Generate Regulatory Report
TE 7.0, Perform Work In RCA	TE 10.6.2, Generate Non-Regulatory Reports
TE 7.1, Setup Access Control Point	
WM008 – Monitor and Control Contamination	
TE 4.0, Maintain Source Inventory	TE 5.0, Maintain Rad Instruments
TE 4.1, Receive Source Material	TE 5.1, Receive Rad Instrument
TE 4.6, Dispose of Source Material	TE 5.8, Ship Instrument Off-Site
WM009 – Perform Minor Maintenance	
WM1.4, Work Approval – Minor Maintenance	

Ensuite, pour faire l'analyse, il a été nécessaire d'en faire une représentation en flux de données. La figure 23 montre un exemple de la représentation des flux pour la gestion de configuration. Une partie de ces schémas était déjà disponible dans la base d'information d'ABB. Je n'ai eu qu'à en créer et en modifier une partie pour les processus de l'engineering.



Source ABB/Michel Vouille

Figure 23 – Exemple du processus modification engineering

## 14.2 Définir les interactions entre PLM et EAM

L'idée retenue dans ce projet est d'étudier les bénéfices d'un référentiel unique des données pour le nucléaire appelé Master Data Management. Il est constitué des applications suivantes représentées sur la figure 24 :

- Gestion de l'activité côté exploitant maintenance et engineering (EAM),
- Gestion de la documentation Engineering et Exploitant (EDMS),
- Gestion de la conception côté Engineering (PLM),
- Gestion des achats et approvisionnements (SC).

Nous avons retenu le principe de répartition des fonctionnalités selon la représentation de la figure 24 ci-après extraite d'une présentation réalisée dans le cadre du projet,

puis nous avons travaillé sur les flux d'échanges entre applications pour déterminer si ce découpage était pertinent et efficace.

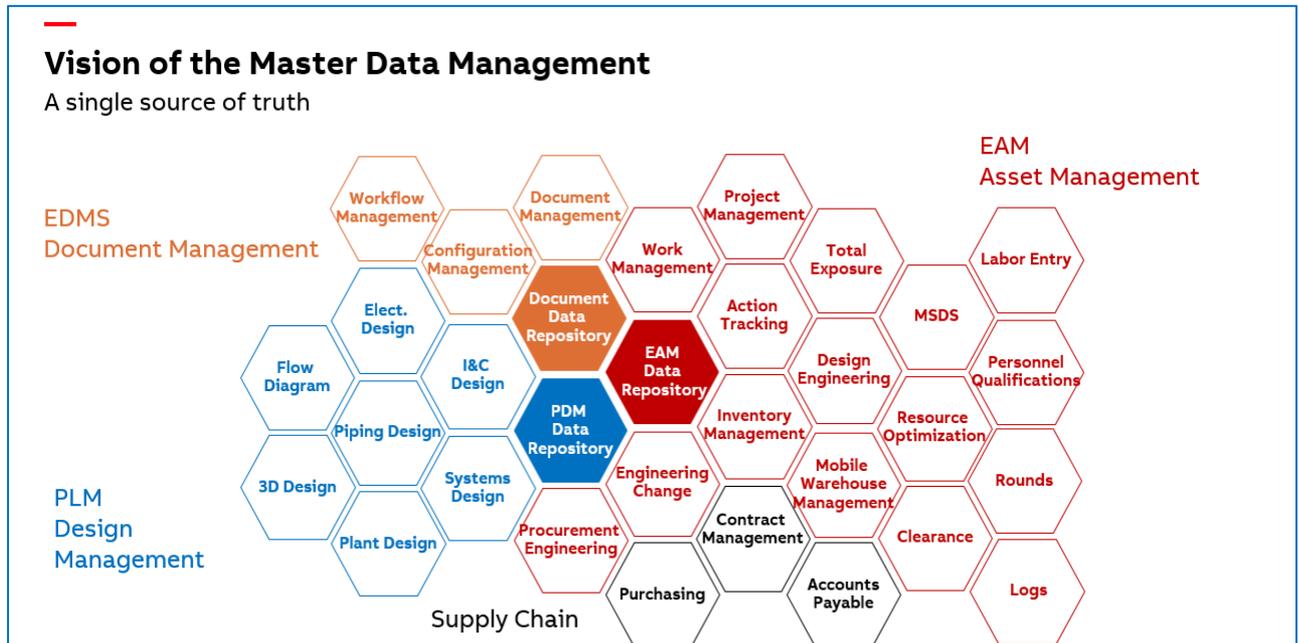
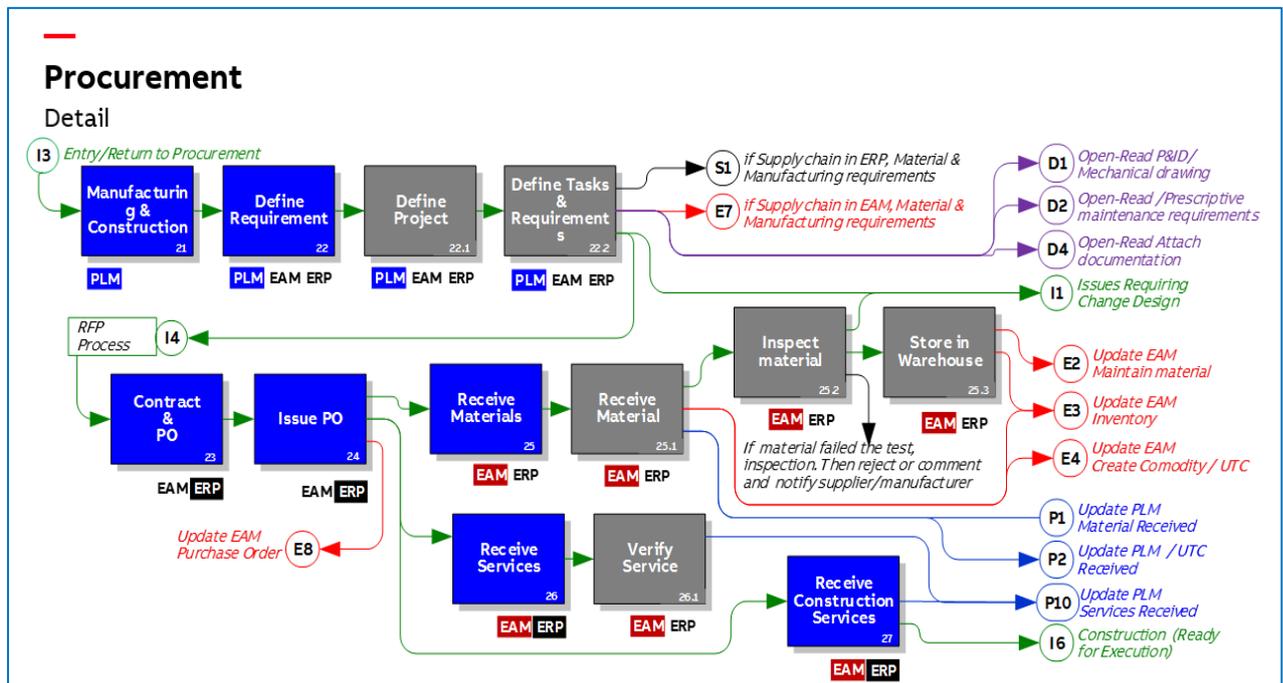


Figure 24 – Vision du Master Data Management pour le nucléaire

Selon le cas, la solution et le choix des applications venant composer le Master Data, il est possible que soit regroupé sous la même application PLM, les modules de conception et de documentation (en bleu et orange). De même, selon l'existant ou les choix d'organisation, la chaîne d'approvisionnement et la gestion des actifs (en noir et rouge) pourront également être regroupés sous l'EAM. Ces choix auront bien évidemment un impact sur la nécessité ou non de mettre en œuvre des flux d'informations, car certains modules fonctionnels peuvent exister dans les deux domaines.

En fonction de la couverture fonctionnelle disponible et des objectifs du client, il appartiendra à l'équipe projet de faire un arbitrage en fonction des avantages et inconvénients de la solution retenue. Par exemple, lorsque la conception est validée, l'EPC doit engager le processus d'achat pour contractualiser avec les fournisseurs. Généralement, les appels d'offres, contrats et commandes sont traités dans l'application de la chaîne gestion des achats et approvisionnements (SC). Mais au moment de la réception, les matériels reçus constituent des actifs de la centrale qui

doivent être pris en compte par l'exploitant. La réception des matériels mis en stocks doivent-ils être dans le PLM, SC ou EAM ?



Source Michel Vouille

Figure 25 – Flux d'informations entre applications pour l'approvisionnement

Si la réception doit être faite dans l'application SC, il faudra envoyer à l'EAM les informations de la réception du matériel pour qu'elle y soit créée. L'exploitant pourra alors faire son inspection et un retour du test est renvoyé à SC. A l'inverse, si la réception doit être faite dans l'EAM, il faudra alors que SC envoie la commande à réceptionner à l'EAM qui fera la réception et l'inspection, tel que représenté à la figure 25. L'intégration des flux vers/de l'EAM exploite la technologie d'interopérabilité de chaque progiciel, ils sont réalisés au travers du catalogue de Webservices pour ABB.

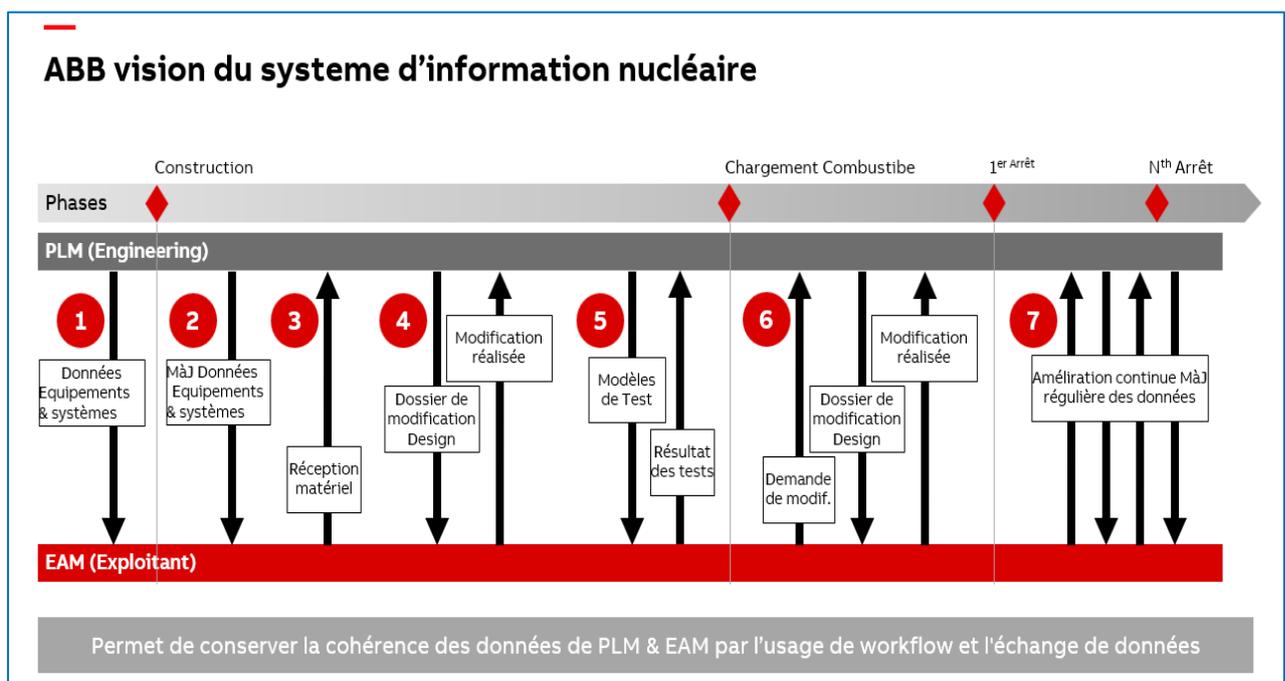
### 14.3 Résumé de l'approche générale

Dans l'activité précédente, nous avons représenté les processus métiers et identifié les applications susceptibles de gérer les données et leurs traitements. Nous avons aussi identifié les points de contacts entre les différentes applications couvrant les principaux processus de la conception au démantèlement des centrales. Plus de 40 flux majeurs ont été identifiés entre l'engineering et l'exploitant, avec de nombreuses variantes en fonction des choix de configuration des clients. Par la suite, nous avons fait le constat que notre représentation de la vision des flux d'informations ne pourrait

pas convenir à tout le monde. En effet, les procédures décrites par le NEI / INPO ne sont que des recommandations, qui peuvent avoir été déployées différemment en fonction des éléments suivants :

- Contraintes (exigences nucléaires, réglementaires et autres),
- Organisation (Engineering réalisé par l'EPC ou Engineering interne),
- Stratégie informatique (nouveau système d'information ou existant),
- Etat du réacteur (en construction, exploitation récente ou fin de vie).

Dès lors, l'approche présentée par ABB dans le cadre de ce projet ne peut être qu'un moyen de représenter la vision potentielle que chaque client devra adapter selon ses objectifs et ses contraintes. Après en avoir discuté en équipe et avec des clients, nous avons donc décidé d'argumenter seulement 7 exemples correspondant à une étape particulière dans le cycle de construction et d'exploitation de la centrale nucléaire.



Source Michel Vouille

Figure 26 – Vision du système d'information nucléaire

Ces exemples, décrits au tableau xi et à la figure 26, ont été déterminés soit par le volume important d'informations à traiter dans la phase, soit par l'importance stratégique que revêtent les informations pour le futur.

Tableau xi – Les 7 points d'échanges principaux entre le PLM et l'EAM

N°	Groupe	Description
1-2	Chargement des données initiales et mise à jour	Flux PLM > EAM – Phase début de construction Dès que les données de conception sont approuvées dans le PLM, elles peuvent être transférées à l'EAM pour la configuration. L'exploitant pourra communiquer ses éventuelles remarques pour l'amélioration de la maintenabilité de l'installation, rappel des exigences d'exploitation, etc. ...).
3	Réception des matériels	Flux EAM > PLM – Phase de construction Beaucoup de matériels vont être livrés sur le site en attente de pouvoir y être installés. Ils seront provisoirement stockés dans des magasins et devront subir des opérations de maintenance préventives et inspections pour ne pas dégrader leurs caractéristiques.
4	Modifications des équipements & documentation	Flux PLM > EAM > PLM – Phase de construction Des modifications peuvent être nécessaires sur les installations déjà transférées à l'exploitant alors que le reste de l'installation est encore en construction. Existe aussi en phase d'exploitation.
5	Préparation et réalisation des tests	Flux PLM > EAM > PLM – Phase de commissionnement La préparation et réalisation des tests sont des étapes stratégiques dans le projet de construction ou grosses modifications. Le résultat des tests constituera la référence telle que construit (As-Built).
6	Demande de modification des installations	Flux EAM > PLM > EAM > PLM – Phase d'exploitation Ce processus pourra se répéter pendant toute la durée de vie de la centrale. L'exploitant peut demander une modification de la conception des installations, de la documentation ou des données. La demande est instruite par l'engineering et renvoyée vers l'exploitant avec les instructions pour exécution.
7	Amélioration continue	Flux EAM > PLM ou PLM > PLM – Phase d'exploitation L'amélioration continue consiste à utiliser tout ou partie des groupes d'échanges 1 à 6 pendant la durée de vie du réacteur pour synchroniser, modifier, ou enrichir les données communes.

Source Michel Vouille

## 15 Résultats et solutions préconisées

### 15.1 Avantages de la vision intégrée pour le propriétaire et l'exploitant

L'intégration des deux composants les plus importants du système d'information nucléaire rend le tout supérieur à la somme des deux parties. L'intégration PLM-EAM assure la continuité des flux et processus de travail dans l'ensemble de la centrale nucléaire. Le PLM fournit un modèle 3D riche des installations de la centrale qui complète la vue détaillée de l'EAM des activités et événements de maintenance.

Le premier avantage qualitatif majeur de l'intégration du PLM et de l'EAM est qu'il favorise la communication entre l'engineering, la construction et la maintenance. Il améliore la transparence des activités pour tous les acteurs, la qualité des données et en réduit la maintenance. Il garantit la traçabilité rigoureuse des informations, en minimisant les erreurs ou les mauvaises décisions. En fonction de leur profil, les utilisateurs peuvent accéder à tout instant à des données fiables pour faire leur travail correctement dès la première fois.

#### 15.1.1 Tests commissionnement et recette

Lorsqu'un équipement ou un système est prêt à être recetté, le PLM envoie l'ensemble des documents et données concernés pour vérification par l'exploitant, y compris les modifications de conception apportées depuis le premier chargement de données. Cet ensemble sera examiné par l'exploitant et sera mis à jour dans l'EAM avec un nouvel indice de révision. L'exploitant utilisera les données PLM pour créer les procédures de réalisation des tests de l'installation, équipement ou système. Lorsque la centrale sera en service, après chaque activité de maintenance, la même procédure de test sera utilisée pour vérifier l'absence de dérive avec la référence As-Built du premier résultat des tests.

L'intégration PLM-EAM permet de suivre l'état et l'avancement des tests. L'exploitant, qui reçoit un ensemble de documentation pour un système donné, peut indiquer son approbation, ses commentaires avant de réaliser les tests physiques. Cela permet à l'EPC et à l'Engineering de répondre et le cas échéant, de les mettre à jour.

### 15.1.2 [Chargement des données et Gestion de la configuration](#)

Dans les centrales nucléaires ainsi que dans toutes les installations à forte densité d'équipements complexes, la configuration des données de l'équipement initial dans l'EAM est une activité importante, sa précision et sa rigueur auront un impact sur la facilité d'exploiter la centrale dans les meilleures conditions. Il s'agit d'un processus itératif, commençant par un ensemble de données approuvées par l'engineering. Par la suite, c'est l'exploitant et la maintenance (O&M)<sup>54</sup> qui mettent régulièrement à jour cette base de données avec les données opérationnelles.

Sans un processus d'intégration comprenant des étapes de révision et de validation, les opérateurs doivent saisir manuellement les données, mais celles-ci ne sont pas étroitement indexées aux données de conception. Cela signifie que les données de l'engineering n'incluront pas forcément les mises à jour effectuées par l'O&M. Après quelques années d'exploitation de la centrale, l'écart augmentera encore entre le niveau de qualité des données du PLM et de l'EAM. En cas de travaux importants, l'engineering devra faire un travail de recherche supplémentaire permettant de documenter et de justifier une demande de modification de conception ou de répondre à d'autres exigences.

### 15.1.3 [Réception des matériels](#)

Les processus de construction des nouveaux réacteurs sont très similaires aux processus des centrales déjà en exploitation. Pendant la construction, des équipements doivent être contrôlés, inspectés et maintenus dans les conditions d'origine, même s'ils seront installés des mois ou des années après. Les fonctionnalités de l'EAM peuvent être simplifiées et activées au fur et à mesure de l'évolution des besoins au cours du cycle de vie de la nouvelle centrale.

Le processus de réception des matériels est particulièrement critique pour la performance future de l'installation. Le processus commence par l'envoi par la chaîne d'approvisionnement d'un bon de commande à l'EAM pour qu'il se prépare à recevoir un nouveau matériel. Lorsque le fournisseur livre l'équipement ou matériel, il doit subir une inspection en référence à la commande initiale. En fonction des résultats de l'inspection, il doit le transférer dans un magasin ou dans un emplacement

---

<sup>54</sup> Operation & Maintenance (O&M)

intermédiaire pour des analyses complémentaires. Les matériels reçus sont identifiés dans l'EAM et la maintenance préventive peut ensuite être programmée selon les prescriptions du fournisseur. Lorsque les travaux en cours l'exigent, le matériel sera sorti de son aire de stockage pour être installé sur le site. Les données de l'EAM et du PLM seront parfaitement synchronisées.

#### 15.1.4 [Processus de modification des installations existantes](#)

De nombreuses centrales nucléaires existantes, en particulier celles construites il y a plus de vingt ans, ne disposent pas des données de conception sous un format numérique. La conception originale réside dans un large ensemble de documents et non dans un ensemble de données numériques gérées. Même lorsqu'elles existent sous un format numérique, le propriétaire / l'exploitant de l'installation peut ne pas disposer de toutes les données de conception. Les données peuvent être réparties entre plusieurs fournisseurs ou systèmes d'informations. Ce qui créera des difficultés dans le cas d'éventuels travaux. Après des années d'exploitation, de maintenance et de modification de l'installation, la configuration de conception d'origine pourrait ne plus être conforme à la réalité physique. A moins que le processus de gestion de la configuration n'ait systématiquement mis à jour les données de conception, ce qui n'est pas toujours le cas, toutes ces situations conduisent au fait que les projets de rénovation doivent d'abord passer à une phase de rétro-ingénierie de la configuration physique de l'installation telle qu'elle est exploitée.

L'intégration PLM-EAM permet la numérisation du processus de modification de la conception des installations entre l'ingénierie et l'exploitant. Ceci permet de partager un grand volume de données et d'instructions sous un dossier de réalisation technique numérique simplifiant l'analyse, l'approbation et la création de toutes les tâches nécessaires à la mise en œuvre de la modification demandée y compris la documentation et données associées.

#### 15.1.5 [Nouveaux réacteurs et chargement des données](#)

Les futurs nouveaux propriétaires ou exploitants de centrales nucléaires bénéficieront d'un avantage qualitatif important de la vision intégrée. Ce « référentiel unique » des données constitue un environnement de modélisation des informations de gestion des installations appelé « jumeau numérique ». L'approche proposée de l'intégration PLM-

EAM assure un transfert cohérent des données de conception pour permettre la configuration de l'EAM. En conséquence, ces centrales bénéficieront :

- D'un processus complet, détaillé et interopérable de l'ensemble de la centrale,
- D'un ensemble de données, de documents et de mises à jour cohérents,
- D'une configuration initiale des installations permettant son amélioration continue.

## 15.2 Autres avantages de la vision intégrée

### 15.2.1 Exploiter les fonctionnalités étendues des applications intégrées

Outre les avantages essentiels et les améliorations apportées par une vision intégrée des données, les opérateurs peuvent exploiter les fonctionnalités avancées du PLM pour améliorer l'efficacité des activités spéciales :

- Le modèle 3D PLM et la navigation virtuelle permettent la qualification du personnel via une formation virtuelle. Le PLM-3D associé aux fonctionnalités de l'EAM offre la possibilité aux exploitants de simuler les opérations avant de se rendre sur site. Toutes les interactions peuvent être suivies à des fins de contrôle de la formation ou qualification,
- Les activités de travail telles que le déplacement de très gros équipements et les activités complexes majeures nécessitant une modélisation précise de l'espace physique simulé en 4D pour garantir la réussite du plan,
- L'intégration PLM-EAM permettra une « navigation interactive » dans une vue 3D de la zone de l'équipement afin de vérifier les conditions d'exécution des travaux et d'évaluer les risques, en réduisant le nombre de fois où un employé doit se rendre physiquement dans les zones contrôlées de la centrale.

## 16 Conclusion – Bilan

Le secteur de la production d'électricité n'a pratiquement pas évolué depuis son invention il y a plus de 100 ans. Conceptuellement, il y a très peu de différences entre une centrale à charbon, gaz ou nucléaire. Les réseaux de transport et de distribution de l'énergie se sont modernisés, mais il n'y a pas eu de changements fondamentaux du transformateur de puissance de la centrale électrique, au tableau électrique du consommateur. La première révolution du secteur vient de l'ajout de nouvelles sources d'énergie telles que les énergies renouvelables. Ces énergies ont un impact technique sur les réseaux de transport et de distribution d'électricité, sur le rôle dédié aux centrales nucléaires qui passent de la production de base à la production de pointe. Sans oublier l'impact sur les prix de vente de l'électricité dont le prix devient variable en fonction de l'offre et de la demande. Ces variations importantes rendent non rentable les sources de production d'électricité ayant besoin d'une visibilité à long terme sur les prix et la production pour obtenir un retour d'investissement.

La révolution du secteur de la production d'électricité dans son ensemble est la première du genre qui impacte en profondeur ces fondamentaux. L'ajustement du modèle économique du nucléaire est probablement plus difficile à résoudre que les impacts du renforcement des exigences de sûreté nucléaire liés aux accidents de Fukushima et Tchernobyl. Mais dans tous les cas, le coût, la disponibilité et la sûreté sont étroitement liés.

Lors de la réalisation du projet, nous avons eu l'occasion de passer en revue quelques-uns des principaux défis actuels et futurs du nucléaire. Le projet a permis de répertorier les exigences essentielles des propriétaires, des exploitants nucléaires et des services informatiques qui conçoivent leurs systèmes d'information. Comme beaucoup d'autres industries, le nucléaire s'interroge sur les meilleures façons d'améliorer sa flexibilité industrielle et de réduire ses coûts. Tout en offrant les meilleures garanties de sûreté des installations et en respectant son engagement à démanteler les installations à la fin de leur cycle de vie.

D'autres industries se sont depuis longtemps engagées dans un processus de transformation numérique global de leur industrie, les entreprises qui ne l'ont pas fait souffrent ou ont disparu. Mais cette transformation numérique n'est une solution que

si elle est décidée, comprise, approuvée et acceptée par l'ensemble de ses acteurs. Beaucoup d'industries ont déjà été confrontées à plusieurs révolutions et transformations et disposent déjà d'une organisation adaptable. C'est notamment le cas des télécommunications, du transport ferroviaire, de l'aéronautique et d'autres.

L'intégration des solutions d'EAM Asset Suite d'ABB, à une solution PLM telle que Dassault Systèmes, répond aux nouveaux défis auxquels le nucléaire doit faire face. Le projet se base sur des technologies de pointe de l'information qui adhèrent aux meilleures pratiques de l'industrie. Il contribue à la réduction des coûts d'exploitation, il permet de renforcer la sûreté de fonctionnement de la centrale et la sécurité du personnel, tout en améliorant la fiabilité et disponibilité des installations. Plus important encore, la solution intégrée une fois mise en œuvre, permettra de répondre aux exigences de traçabilité de la configuration demandées par les autorités de sûreté nucléaire et permettra de disposer d'un système d'informations solides pour répondre aux enjeux des 50 – 80 prochaines années d'exploitation.

La solution s'appuie sur une solution d'EAM construite autour des meilleures pratiques de l'industrie nucléaire, qui lui offre les meilleures garanties de sûreté, de fiabilité et d'efficacité des installations. L'EAM d'ABB a été conçu et construit autour du modèle standard de performance nucléaire (SNPM) qui est devenu le standard de fait dans l'industrie. Il est continuellement mis à jour sur la base des retours d'expériences des clients d'ABB et est conforme aux directives de de l'AIEA, WANO et de l'INPO.

En même temps que les autres industries, les technologies des systèmes d'information font leur énième révolution. L'internet, le big data, le cloud etc... ont naturellement poussé les industries à adopter des systèmes d'information plus flexibles et agiles. L'évolution des technologies de l'information a permis aux industriels de mettre en œuvre des applications spécialisées qui constituent un « master data management », ou création de modèle de construction (BIM). Mais la difficulté supplémentaire de l'industrie nucléaire est qu'elle est difficilement comparable aux industries à grande séries. En effet, le nucléaire c'est avant tout un investissement en capital d'une dizaine de milliards d'Euros pour 60-100 ans, dans un volume de marché inférieur à 15 réacteurs par an. Aucune autre industrie n'a de problématiques similaires.

Depuis 2000-2005 le nucléaire a fait évoluer ses systèmes d'information et ses organisations, mais n'a abouti qu'à multiplier les « master data management » tant les cultures, techniques et outils sont différents dans l'organisation des centrales nucléaires. Fort de ce constat et de la certitude qu'il faudra encore une dizaine d'années pour faire évoluer une culture commune à toute l'industrie nucléaire, l'approche intermédiaire est la constitution d'une «source unique de référence» pour relier les « master data management » (source unique de référence ) entre eux. Cette approche à l'avantage de ne pas transformer radicalement ce qui est vital pour le nucléaire. C'est-à-dire un engineering qui maîtrise la conception des installations et un exploitant qui en maîtrise l'usage de tous les jours. La source unique de référence permet de créer un référentiel sans devoir arbitrer fondamentalement sur les rôles dédiés à ces deux organisations. Cette approche est plus souple et garantit que les exigences réglementaires et opérationnelles relatives à la gestion de la configuration sont rigoureusement respectées. La vision intégrée du PLM et l'EAM répond à toutes ces exigences et garantit également que tout le personnel de l'organisation est aligné sur l'état et l'historique des installations.

Le PLM permet de fournir une modélisation 3D riche et des données de conception plus détaillées sur tous les équipements et toutes les structures de la centrale. L'intégration des données PLM dans la base de données des équipements de l'EAM permet d'en donner l'accès à tout le personnel. Un jumeau numérique 3D de la centrale nucléaire améliore la sûreté, réduit les risques et réduit les coûts.

## 17 Conclusions personnelles et perspectives

Dans le cadre de ce projet, nous avons pu constater que l'organisation interne des industriels est au centre de la problématique. En effet, l'organisation actuelle des exploitants nucléaires est le résultat d'évolutions successives, conséquences des contraintes et des événements intervenus dans son histoire. Dans ce domaine, cette étude nous a également montré que le même cadre réglementaire pouvait être mis en œuvre de façon différente selon le pays, l'exploitant ou même au sein de centrales différentes d'un même exploitant. Il arrive qu'un processus soit défini pour guider et contrôler l'opérateur qui aura peu de latitude, alors qu'ailleurs, le même processus lui laissera davantage d'autonomie. Hormis ces écarts, c'est dans ce cadre réglementaire contraignant, que le management et les organisations nucléaires se sont structurés pour : contrôler, vérifier, mesurer, approuver, interdire, reporter, tracer. Elles ne prenaient pas en compte les aspects collaboratif comme : partager, communiquer, informer, diffuser, assister. Plus récemment, sous l'impulsion de l'arrivée de nouveaux personnels plus jeunes et aguerris aux nouvelles technologies, l'industrie nucléaire et les services informatiques mettent en œuvre des processus métiers de plus en plus collaboratifs qui permettent aux agents d'être guidés dans leurs opérations.

L'industrie nucléaire, qui est confrontée à sa première révolution industrielle, doit se réinventer pour survivre avec un objectif de réduction des coûts sans compromettre la sûreté. Elle doit faire évoluer son organisation d'un mode planifié-réactif vers un mode collaboratif-proactif, où chaque opérateur ou agent pourra prendre des décisions et/ou actions de manière proactive sur la base d'informations fiables, récentes et utiles pour son activité. Le rôle des responsables sera de veiller à l'atteinte des objectifs et de devenir des facilitateurs pour les opérateurs et agents de l'entreprise. L'usage des solutions collaboratives comme l'EAM, le PLM et autres outils permettra à l'industrie nucléaire d'atteindre cet objectif de réduction des coûts. Ceci a été confirmé par une étude interne d'un grand exploitant nucléaire qui a montré une réduction des défaillances matérielles et des temps de préparation des arrêts pour rechargement en combustible après avoir déployé des solutions permettant le partage des données et des processus métiers.

Ce projet nous a également permis de constater que l'objectif initial, qui était de concevoir une solution unique supportant la source unique de référence de la centrale

nucléaire était peut-être trop ambitieux ou trop en avance par rapport à l'évolution de l'organisation des exploitants. En effet, cet objectif se heurte à la combinaison de trop nombreux facteurs qui sont :

- une interprétation variable des exigences réglementaires d'un site à un autre,
- l'implémentation et la configuration du PLM variable selon le rôle de l'engineering,
- l'EAM pouvant également être configuré différemment d'un exploitant à un autre,
- une organisation cloisonnée ou flexible, avec une culture d'entreprise partagée,
- Une résistance au changement des opérateurs et agents si l'écart entre le niveau de collaboration actuel et future est important.

Pour résumer, nous faisons le constat que la mise en œuvre d'une solution collaborative doit être synchronisée avec l'évolution des organisations nucléaires pour éviter les rejets ou une conduite du changement trop importante. Dès lors, imaginer, concevoir une intégration commercialisable sous la forme de produit n'est pas réalisable à court terme. En revanche, la faisabilité est réelle et les gains attendus pour la performance et la flexibilité des exploitants nucléaires sont tangibles. La recommandation faite par le projet sera alors de commercialiser le résultat de cette étude de concept sous la forme de « savoir-faire » mis en œuvre par les équipes de consultants chez les clients dont les conditions requises pour mettre en œuvre la « source unique de référence » sont remplies.

Les perspectives et approches possibles à la mise en œuvre de la « source unique de référence » sont les suivantes :

→ La première hypothèse serait de s'appuyer sur le PLM dont les développements de la couverture fonctionnelle supportent la mise en œuvre d'un jumeau numérique et poussent les éditeurs à intégrer des concepts fonctionnels couverts par l'EAM. Par exemple, avec la gestion de configuration, la dosimétrie, le contrôle des exigences nucléaires, l'analyse des écarts ou encore l'analyse de la fiabilité opérationnelle. Les progiciels PLM et EAM actuels sont de taille et de complexités identiques, résultat de plusieurs décennies de développement. Mais il faudra certainement moins de temps pour développer les fonctionnalités manquantes au PLM pour couvrir la gestion des activités maintenance, inspections, conduites, approvisionnement et stock, dans la même architecture logicielle. L'autre alternative serait qu'un éditeur de PLM fasse

l'acquisition d'un éditeur d'EAM et décide de commercialiser une intégration renforcée plus simple que celle du projet que nous avons conduit car l'éditeur maîtriserait les deux parties de l'intégration, ce qui générerait des économies d'échelles pour l'éditeur et ses clients.

→ La deuxième hypothèse envisageable est que l'EAM intègre les concepts du PLM, dans un premier temps pour la gestion des dossiers de construction, et en complétant le catalogue des installations et équipements par les fonctionnalités d'engineering nécessaires à l'analyse et au calcul des spécifications des installations. La difficulté est peut-être plus importante que dans le cas précédent car l'EAM est avant tout un outil de traitement de données et de gestion d'activité ; celui-ci n'étant pas un outil de conception et de calcul. Même en imaginant l'acquisition d'un éditeur de PLM, l'intégration de ces outils au sein de l'EAM ne pourra pas être réalisée sans un changement fondamental de l'architecture de l'EAM et PLM.

→ La troisième hypothèse est que l'industrie nucléaire décide d'adopter un standard unique pour décrire les installations, les actifs, le modèle de données et d'autres livrables. Cela simplifierait alors énormément les échanges entre le PLM, l'EAM et les différents acteurs internes ou externes aux exploitants nucléaires. La probabilité que cette hypothèse se réalise est assez faible car cela suppose de composer avec les stratégies industrielles des fournisseurs de réacteurs dans chaque pays, qui souvent sont classées « confidentiel défense » et en concurrence sur le point technologie et politique.

# Références et bibliographie

---

## Bibliographie

- AIEA 2015. Post Fukushima Action – a perspective from the IAEA. Presentation, Vienne : AIEA. Accès le 08 15, 2019, <https://nucleus.iaea.org/sites/htgr-kb/HTR2014/Plenary/12.%20Frederik%20Reitsma.pdf>
- AIEA 2016. Medium Term Strategy 2018–2023. 18 11. Accès le 06 22, 2019. [https://www.iaea.org/sites/default/files/16/11/mts2018\\_2013.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/16/11/mts2018_2013.pdf) .
- AIEA 2019.a STATISTICS → STANDARD REPORTS → 5: History of Operating reactors. IAEA. Avril 10. Accès le 04.06, 2019. <https://pris.iaea.org/pris/>.
- AIEA 2019.b Country Statistics – Russian Federation. IAEA. 26 06. Accès le 06 27, 2019. <https://pris.iaea.org/pris/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=RU>
- AIEA 2019.c Stratégie à moyen terme. 05 01. Accès le 06 22, 2019. <https://www.iaea.org/fr/laiea/strategie-a-moyen-terme>, [https://www.iaea.org/sites/default/files/16/11/mts2018\\_2013.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/16/11/mts2018_2013.pdf).
- CEA 2018. ELECNUC – Les centrales nucléaires dans le monde. Paris : COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES. Accès le 06 22, 2019 <http://www.cea.fr/english/Documents/scientific-and-economic-publications/Elecnu-2018.pdf>
- CRE 2017. Observatoire des marchés de gros de l'électricité et du gaz naturel et du CO2 – 1TRI 2017. Rapport annuel, Paris : CRE. <https://www.cre.fr/media/Fichiers/marches/consulter-l-observatoire-des-marches-de-gros-du-4e-trimestre-2017>
- EPRI 2018. About EPRI / A propos de l'EPRI. Accès le 06 22, 2019. <https://www.epri.com/#/about/epri?lang=en-US> .
- FR.Dipl. 2018 Stratégie Française pour l'énergie et le climat – PPE 2019-2028 . Projet, Paris : Système Gouvernement. Accès le 04 17, 2019 <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Projet%20PPE%20pour%20consultation.pdf>
- FR.Dipl. 2019.a Le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) en 5 questions-réponses. 17 04. Accès le 04 17, 2019. <https://www.diplomatie.gouv.fr/fr/politique-etrangere-de-la-systeme/climat-et-environnement/les-negociations-internationales-en-matiere-de-dereglement-climatique/article/le-groupe-intergouvernemental-sur-l-evolution-du-climat-giec-en-5-questions>.
- FR.Dipl. 2019.b Les négociations internationales en matière de dérèglement climatique. 05 12. Accès le 04 17, 2019. <https://www.diplomatie.gouv.fr/fr/politique-etrangere-de-la-systeme/climat-et-environnement/les-negociations-internationales-en-matiere-de-dereglement-climatique/>
- GIEC 2018. GIEC Global Warming of 1.5DC 2018. GIEC. Accès le 08 15, 2019 [https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15\\_spm\\_final.pdf](https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf)
- GP 2010. Greenpeace \_ Energy [ r]evolution – a sustainable world energy outlook. Energy Outlook Scenario, Greenpeace, Accès le 08 15, 2019 <https://pdfs.semanticscholar.org/174f/b41364e842334f36e729d059f9c38ae1d0c9.pdf>.

- IEA 2019. Nuclear Power in a clean energy system. IEA. Accès le 04 17, 2019  
<https://webstore.iea.org/nuclear-power-in-a-clean-energy-system>
- INPO 2018. About INPO / A propos de l'INPO. Accès le 06 22, 2019.  
<http://www.inpo.info/AboutUs.htm#mission> .
- IRSN 2018. Baromètre IRSN – Perception des risques et de la sécurité par les Français. Paris : IRSN. Accès le 06 22, 2019  
[https://www.irsn.fr/FR/IRSN/Publications/barometre/Documents/IRSN\\_Barometre2018-essentiels.pdf](https://www.irsn.fr/FR/IRSN/Publications/barometre/Documents/IRSN_Barometre2018-essentiels.pdf)
- ITER 2018. «22<sup>ème</sup> Conseil ITER : en bonne voie pour un premier plasma en 2025.» ITER. 21 06. Accès le 06 27, 2019,  
[https://www.iter.org/doc/www/content/com/Lists/list\\_items/Attachments/777/2018\\_06\\_IC-22\\_fr.pdf](https://www.iter.org/doc/www/content/com/Lists/list_items/Attachments/777/2018_06_IC-22_fr.pdf).
- MIT 2018. The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology. Accès le 06 22, 2019. <http://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2018/09/The-Future-of-Nuclear-Energy-in-a-Carbon-Constrained-World.pdf>
- NEI 2018.a About NEI / A propos du NEI. Accès le 06 22, 2019. <https://www.nei.org/about-nei>
- NEI 2018.b Nuclear Costs in Context. Oct 2018, Bulletin, NEI. Accès le 06 27, 2019  
<https://www.nei.org/CorporateSite/media/filefolder/resources/reports-and-briefs/nuclear-costs-context-201810.pdf>
- NISD 2015. Operating Experience and Learning / A Guide to Good Practice. Publication, Operating Experience and Learning Group (OELG). Accès le 08 15, 2019,  
<https://www.nuclearinst.com/write/MediaUploads/SDF%20documents/Operating%20Experience/0004 - A Guide to Good Practice A4 Booklet.pdf>
- NIST 2004. Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry. Rapport, Gaithersburg: US Department of Commerce. Accès le 08 15, 2019,  
<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/gcr/2004/NIST.GCR.04-867.pdf>
- Nyer et Agnew 2012. Argonne Nuclear Pioneers: Chicago Pile 1. Argonne , IL (USA): United States. Department of Energy., 2012.
- Schneider 2018 Schneider, Mycle. 2018. The World Nuclear Industry status report 2018. Paris : MacArthur Foundation. Accès le 08 15, 2019,  
<https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/20180902wnisr2018-lr.pdf>
- SFEN 2017. L'énergie nucléaire une nouvelle ambition. Paris : SFEN. Accès le 08 15, 2019,  
[http://www.sfen.org/sites/default/files/public/atoms/files/livre\\_blanc\\_sfen\\_2017\\_-\\_une\\_nouvelle\\_ambition\\_pour\\_lenergie\\_nucleaire.pdf](http://www.sfen.org/sites/default/files/public/atoms/files/livre_blanc_sfen_2017_-_une_nouvelle_ambition_pour_lenergie_nucleaire.pdf)
- SFEN 2018. Les coûts de production du nouveau nucléaire. Paris : SFEN. Accès le 08 15, 2019,  
[http://www.sfen.org/sites/default/files/public/atoms/files/les\\_couts\\_de\\_production\\_du\\_nouveau\\_nucleaire\\_francais.pdf](http://www.sfen.org/sites/default/files/public/atoms/files/les_couts_de_production_du_nouveau_nucleaire_francais.pdf)
- WANO 2018. WANO – Our Mission / Nos Missions. Accès le 06 22, 2019.  
<https://www.wano.info/about-us/our-mission> .
- WNA. 2018. Nuclear Power Reactors. 10. Accès le 06 27, 2019. , <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/nuclear-power-reactors.aspx>

## Liste des Figures

FIGURE 1 - LES PRINCIPAUX TYPES DE REACTEURS EN EXPLOITATION DANS LE MONDE .....	11
FIGURE 2 - AGE MOYEN DES REACTEURS EN EXPLOITATION .....	15
FIGURE 3 - NOMBRE DE REACTEURS EN CONSTRUCTION DANS LE MONDE .....	17
FIGURE 4 - EVOLUTION DES ARGUMENTS EN FAVEUR DU NUCLEAIRE .....	21
FIGURE 5 - EVOLUTION DES ARGUMENTS CONTRE LE NUCLEAIRE .....	22
FIGURE 6 - RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE LES 3 SCENARIOS POSSIBLES .....	24
FIGURE 7 - PRIX MOYEN DU MWH ET CONTRIBUTION DU NUCLEAIRE DANS LA PRODUCTION.....	27
FIGURE 8 - SYNTHESE DU PLANNING DU PROJET .....	36
FIGURE 9 - ORGANIGRAMME DU PROJET .....	37
FIGURE 10 - EXEMPLE D'ORGANISATION D'UNE CENTRALE NUCLEAIRE.....	41
FIGURE 11 - ENPM® / ©EDF SA. EDF NUCLEAR PERFORMANCE MODEL® .....	42
FIGURE 12 - MODELE STANDARD DE PERFORMANCE NUCLEAIRE SNPM - SOURCE ABB / NEI.....	44
FIGURE 13 - REPRESENTATION DES RECOMMANDATIONS DU NEI / 'INPO - SOURCE ABB.....	45
FIGURE 14 – REPRESENTATION DU SYSTEME D'INFORMATION IMS.....	46
FIGURE 15 – REPRESENTATION DU LA PLATEFORME MULTI-D D’AES .....	47
FIGURE 16 – REPRESENTATION DE LA STRATEGIE PLM INTEGREE D’AIRBUS.....	49
FIGURE 17 - MOYENNE TRIMESTRIELLE DES PRIX DE L'ELECTRICITE (LIVRAISON JOUR SUIVANT) .....	52
FIGURE 18 - TAUX D'ACCIDENT DE SURETE NUCLEAIRE .....	56
FIGURE 19 - GESTION DE LA CONFIGURATION – UNE OBLIGATION REGLEMENTAIRE.....	61
FIGURE 20 - REPARTITION DES DEPENSES OPERATIONNELLES (REACTEURS USA 2006-2016) .....	64
FIGURE 21- EVOLUTION DES SYSTEMES D'INFORMATION EN VISION INTEGREE.....	68
FIGURE 22 - PREREQUIS : CORRESPONDANCE REFERENTIELLE ENTRE LE PLM ET L’EAM .....	75
FIGURE 23 – EXEMPLE DU PROCESSUS MODIFICATION ENGINEERING .....	81
FIGURE 24 – VISION DU MASTER DATA MANAGEMENT POUR LE NUCLEAIRE .....	82
FIGURE 25 – FLUX D’INFORMATIONS ENTRE APPLICATIONS POUR L’APPROVISIONNEMENT.....	83
FIGURE 26 – VISION DU SYSTEME D’INFORMATION NUCLEAIRE .....	84

## Liste des tableaux

TABLEAU I - PRODUCTION D'ELECTRICITE D'ORIGINE NUCLEAIRE ET TOTALE DU PAYS .....	16
TABLEAU II – CONTRIBUTION DE L'ORGANISATION D'ABB DANS LA REALISATION DU PROJET .....	37
TABLEAU III - COMPARAISON DES REFERENTIELS ROSATOM, AREVA, AIRBUS .....	50
TABLEAU IV – DEFIS OPERATIONNELS DE L'INDUSTRIE NUCLEAIRE.....	54
TABLEAU V - SYNTHESE DU MIT POUR LE NUCLEAIRE ET CONTRIBUTION DU SII POUR LA CONSTRUCTION .....	59
TABLEAU VI - LISTE DES EVENEMENTS NUCLEAIRES US LIES A LA GESTION CONFIGURATION.....	62
TABLEAU VII - USAGE / CONTRIBUTIONS DES DONNEES PAR GROUPE D'UTILISATEURS ET DOMAINE.....	66
TABLEAU VIII - CRITERES D'EVALUATION APPLICABLES AUX DES CAS D'USAGES .....	74
TABLEAU IX – SYNTHESE DES CAS D'USAGES ETUDIES DANS LE CADRE DE L'INTEGRATION PLM-EAM .....	76
TABLEAU X – PROCEDURES DE L'AP928 / WM001-009 – WORK MANAGEMENT .....	80
TABLEAU XI – LES 7 POINTS D'ÉCHANGES PRINCIPAUX ENTRE LE PLM ET L'EAM.....	85

## Glossaire & abréviations

<b>AIEA</b>	Agence Internationale de l'Energie Atomique, instance de l'Onu dont le siège est à Vienne promeut l'utilisation sûre, sécurisée et pacifique des technologies nucléaires.
<b>ARENH</b>	Accès Régulé à l'Electricité Nucléaire Historique est un dispositif créé par la loi NOME en 2010 dans le cadre d'un marché régulé permettant une concurrence équitable.
<b>As-Built</b>	(Tel que construit) Ensemble de plans et schémas du constructeur. Il reflète toutes les modifications apportées au « AS-Design » pendant la construction.
<b>As-Design</b>	Tel-que conçu – Ensemble de plans et schémas du concepteur / propriétaire comprenant les spécifications, 2D, 3D, les notes et résultats de calculs effectués.
<b>ASN</b>	Autorité de sûreté nucléaire Française, instance indépendante ne rendant des comptes qu'au parlement, généralement appelé le « gendarme du nucléaire »
<b>BIM</b>	Building Information modeling – Le BIM est avant tout une méthode de partage des données et d'informations pendant toute la durée de vie de l'équipement ou ouvrage
<b>CNPE</b>	Centrale nucléaire de production d'électricité, quelle que soit la conception du réacteur (à eau pressurisé REP/PWR, eau bouillie REB/BWR, ....)
<b>EAM</b>	Enterprise Asset Management ou Gestion d'actif de l'entreprise. Logiciel permettant la gestion des installations, des activités de maintenance et de l'exploitation.
<b>EEX</b>	European Energy Exchange (EEX) principale bourse de l'énergie en Europe
<b>EPC</b>	Engineering Procurement Construction est une forme de contrat utilisé dans l'industrie couvrant les activités d'ingénierie, d'approvisionnement et de construction
<b>EPEX</b>	Bourse française du marché de l'électricité EPEX ( <a href="http://www.epexspot.com/fr">www.epexspot.com/fr</a> )
<b>EPRI</b>	Electric Power Research Institute – L'Institut de recherche sur l'énergie électrique (EPRI) mène des projets de recherche, d'intérêt public aux USA et dans le monde.
<b>ERP</b>	Enterprise Resource Planning ou Progiciel de Gestion Intégré (PGI) généralement prévu pour supporter les fonctions transverses de l'entreprise (Finance, Paie...)
<b>AIE</b>	Agence Internationale de l'énergie qui regroupe 30 pays membres de l'OCDE

<b>INES</b>	<b>International Nuclear Event Scale</b> , Echelle de 7 niveaux créée par l'AIEA, pour classer les accidents nucléaires et leurs conséquences environnementales.
<b>INPO</b>	Institute of Nuclear Power Operations – Institut des exploitants nucléaires dont la mission est de promouvoir les plus hauts niveaux de sûreté de fonctionnement
<b>IT/OT</b>	Information Technology / Operational Technology, désigne l'intégration des technologies de l'information (IT) avec les technologies d'exploitation (OT)
<b>MIT</b>	Massachusetts Institute of Technology – L'une des plus prestigieuses universités et institut de recherche Américaine et mondiale.
<b>NEI</b>	Nuclear Energy Institute – Institut de l'énergie nucléaire (NEI) élabore une politique sur les principaux problèmes réglementaires touchant le secteur du nucléaire.
<b>NIST</b>	National Institute of Standards and Technology (NIST) – L'Institut national des normes et de la technologie (NIST) fait partie du Département du commerce des États-Unis.
<b>NRC</b>	Nuclear Regulatory Commission – Autorité de sûreté nucléaire américaine : elle réglemente les centrales nucléaires.
<b>PLM</b>	Plant Life cycle Management – Gestion du cycle de vie est un logiciel permettant de gérer les processus de conception, modélisation et construction d'installations.
<b>SFEN</b>	Société Française de l'Energie Nucléaire, est une association et un lieu d'échanges pour les spécialistes de l'énergie nucléaire français et étrangers.
<b>SNPM</b>	Standard Nuclear Performance Model – Modèle standard de performance nucléaire. C'est un standard industriel qui définit les processus nucléaires
<b>TMI</b>	Centrale nucléaire de Three Miles Island, située en Pennsylvanie. 1 <sup>er</sup> accident nucléaire au monde en mars 1979 – 3 mois après son démarrage opérationnel.
<b>Tranche</b>	Unité de production électrique comportant une chaudière nucléaire et un groupe turbo-alternateur appelé aussi Réacteur, Unité ou Bloc selon les exploitants.
<b>WANO</b>	World Association of Nuclear Operator, association des exploitants nucléaires dans le monde en charge d'audit, d'analyse et d'assistance de ses membres.
<b>Workflow</b>	Flux de donnée informatisé pouvant inclure des étapes manuelles d'utilisateurs.
<b>WNA</b>	World Nuclear Association – Association mondiale du nucléaire est une association internationale d'information et de partage du nucléaire.

## Les annexes

---

PLM-EAM INTEGRATION BUSINESS CASES	103
ABB NUCLEAR SOLUTION	123



## ANNEXE 1

### PLM-EAM INTEGRATION BUSINESS CASES



# PLM-EAM Integration Business Cases

This Document describes the innovation that we plan to introduce to our Nuclear Generation clients.

## CONTENT

<u>FIRST GROUP</u>	<u>2</u>
<u>Plant Information Experience / Experiential Work Instructions</u>	<u>2</u>
<u>3D JOB UNDERSTANDING</u>	<u>3</u>
<u>3D SERIOUS GAME TRAINING</u>	<u>4</u>
<u>SECOND GROUP</u>	<u>8</u>
<u>Plant Information Experience / Experiential Work Instructions</u>	<u>8</u>
<u>Operation driven Engineering</u>	<u>8</u>
<u>3D Planning – Assessment</u>	<u>8</u>
<u>3D Planning – ALARA</u>	<u>10</u>
<u>3D Planning – Clearance</u>	<u>11</u>
<u>4D Planning-Simulation</u>	<u>12</u>
<u>THIRD GROUP</u>	<u>15</u>
<u>Lean Handover &amp; Operation driven Engineering</u>	<u>15</u>
<u>TAG 2D-PID/3D cross References</u>	<u>16</u>
<u>Standard Template EPCOM Doc Sharing</u>	<u>18</u>



## FIRST GROUP

This section groups the innovations for maintenance training as it makes sense to consider them part of the same innovation. They could be developed together

<b><u>DOMAIN</u></b>	PLANT INFORMATION EXPERIENCE / EXPERIENTIAL WORK INSTRUCTIONS	1
<b><u>INNOVATION NAME</u></b>	3D JOB UNDERSTANDING	1.A
<b><u>INNOVATION</u></b>	3D SERIOUS GAME TRAINING	1.B
<b><u>ABB BENEFIT</u></b>		
Innovation connected to our core business, will increase our credibility into the Generation Industry, and will expand our capability in describing the work package and will definitively add the “Training” domain to the ABB footprint. Greatly improve UX around work planning and maintenance training		
Domain improved	Work Safety, Work Awareness, Work Planning, Aging Work force.	
More License User	Not sure since we potentially target special job, activity done by Maintenance people that probably have already access to the solution.	
Create a new module	Yes, this new capability will become part of the new Work Planning Module- that also includes Work Tracking and Mobility	
<b><u>DASSAULT BENEFIT</u></b>		
Expand entry into utility market – create new license users in power generation; create initial project with an energy vendor involved in EAM and Operations		
<b><u>CLIENT BENEFIT</u></b>		
<p>Address 2 kinds of concern / requirement for both New and existing employee and contractor. The first area is for general familiarization and awareness as a richer level. This will be dedicated to repetitive training activities, to a lot of people that need to access the plant. Typically goal of training will be to help trainee to:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Find is path and navigate in the plant</li> <li>- Learn the security and alert message</li> <li>- Get the generic habilitation common for all or one type of crew or accessing one zone.</li> <li>- Training module is interactive and track time, success and failure back to Asset Suite</li> </ul> <p>The second area for training is related to a job, where planner defines that a qualification / resource attends the training or 3D practices before job done. Typically goal of the training activity will be to record that trainee has satisfied with:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Know how to find his path in the plant for a specific WO or set of Wos.</li> <li>- Can identify “control room/cabinet” of the equipment in the WO</li> <li>- Navigate to the “control room/cabinet”</li> <li>- Is aware of the risk and contextual information associated of the room and path used</li> <li>- Training module is interactive and track time, success and failure back to Asset Suite</li> </ul> <p>This innovation will allow:</p>		



- reducing training time and reduce risk accident for the task where 3DVIA module has been defined. **\*\* Critical \*\***
- Save time and allows acceleration of training / familiarization from infrastructure and general knowledge point. **\*\* important \*\***
- Create an improved User Experience around work planning, clearances, maintenance training and awareness
- Part of the aging work force Challenges

<b><u>INNOVATION NAME</u></b>	3D JOB UNDERSTANDING	1.A
-------------------------------	----------------------	-----

**SCORE CARD (1 low – 5 high)**

UNIQUE ON MARKET	2	Other training type video and media linked to EAM exists on market.
CUSTOMER VALUE	3	Good but not essential
COMPLEXITY / EASINESS	3	Simple to implement, but requires heavy configuration of 3DVIA
WOW FACTOR / INOVATIVE	4	3D View

**INNOVATION DETAIL**

Possibility to reference 3DVIA training for special work maintenance task to ensure that people involved will execute the job correctly. Solution will prevent mistake from the operator or Maintenance staff. Staff can modify on line the scenario if the training session highlights some new findings from operator. (comment: Online? Capturing operator issues/comments – will this be EVERY operator, or just the senior ones that are providing a kind of « training review »)

**INTEGRATION REQUIREMENT**

Training predefined and available on 3DS and can be reach through link or reference. Link will be referenced as a doc to the qualification object that is referenced on MOWO/WO. If we want to expand the use of such training, we should use it for general familiarization and awareness as a richer level. This will be mainly dedicated to repetitive training activities, to a lot of people that need to access the plant. Typically goal of training will be to help trainee to:

- Find is path and navigate in the plant
- Learn the security and alert message
- Get the generic habilitation common for type of crew or access in one zone.

Training module is interactive and track time, success and failure back to Asset Suite (PQD).

**PRINCIPLES / METAPHORS**

## Work Management - 3D Job Understanding

3

The screenshot displays the 'Work Order Planner' interface. On the left, there is a navigation menu with icons for Desktop, Mobile, and Other Systems. The main area shows a 'WORK TASK OUTLINE' table with columns for Task, Priority, Status, and Resources. The table lists various tasks such as 'Management Plan', 'Management Plan', 'Management Plan', etc.

## Work Management - 3D Job Understanding

3

The screenshot displays the 'Work Order Planner' interface with a 3D model of a mechanical component. The model is a red cylindrical part with yellow labels 'Task 1', 'Task 2', and 'Task 3' pointing to different sections. The interface also shows a table of tasks and a 3D view of the component.

<b>INNOVATION</b>	3D SERIOUS GAME TRAINING		1.B
<b>SCORE CARD (1 low – 5 high)</b>			
UNIQUE ON MARKET	3	Some other vendor offers some sort of training capability that can be or have been integrated to EAM	
CUSTOMER VALUE	3	Good but not essential	
COMPLEXITY / EASINESS	5	Simple to develop	
WOW FACTOR / INOVATIVE	4	3D View	
<b>INNOVATION DETAIL</b>			
Possibility to reference 3DVIA training for qualification in the Personnel Qualification Data (PQD) module. This will complement the existing feature where we track training progress/completed.			



3DVIA training offers the capability to have some form of interaction evaluation. 3DS capabilities offer to first give the operator a chance to demo then practice their operations, and then there is a testing mode where all interactions are tracked into an assessment file, for review and determination if they pass/fail (for whatever the pass/fail criteria are)

The link between AS & 3DVIA will allow to export set of WO task on equipment that a trainee using his avatar should do and feed PQD with the completion data of the training.

Training “Game” with test can be used for general training information to employee or contractor accessing the plant helping them to navigate or more developed training course for technical purpose.

Typically, it is related to a job, where planner defines that a qualification / resource must attend the training or 3D practices before job done. Goal of the training activity will be to record that trainee has satisfied with:

- Know how to find his path in the plant for a specific WO or set of WOs.
- Can identify “control room/cabinet” of the equipment in the WO
- Navigate to the “control room/cabinet”
- Is aware of the risk and contextual information associated of the room and path used
- Training module is interactive and track time, success and failure back to Asset Suite

This is not a Learning Management System, we do not intend as well to transform or complement PQD to make it become an LMS. So, we must consider if the Client will be more interested by having its own LMS using such 3D training module, to prepare the training and follow up the progress completion by the team and bring back the completion data back to LMS and PQD. The tricky point is that LMS is in-between DS and ABB. It reduces the value proposition somehow. The only case we complement together is when client doesn't have LMS or doesn't want to use it, then it can make sense to directly link AS to 3DVIA using the capability to dynamically create a new scope for training.

Example of a Workflow:

- AS manage the data of the different type of work and skills required for the plant maintenance or other domain.
- One of the activities of the WO is to test/verify worker qualification/knowledge of the job.
- Then we export the WO package and sequence that is loaded into 3DVIA.
- Trainee has several options, to locate the equipment where he should work on, using the proposed path way, highlighting the equipment, etc.....,
- Then we can propose several actions depending of the case from only locate the equipment and click on it, to manipulate the equipment to the status or position required.
- Training could include additional information related to the context and awareness of the job location, like showing the risk associated to location or equipment, information of the status of the unit (Operating, Outage or shutdown).
- Training department can use also this data to build into 3DVIA some specific training course
- When done they send the content + link + evaluation to the LMS
- When a Work Order is planned requiring resources that doesn't have yet the skills, the planner request LMS to launch the training process of resources xyzzy
- LMS process training and feedback the information to PQD-AS when training completed.

(comment: Requires SCORM type of assessment file? How to do a formal instructor review of the tracked results, to determine a pass/fail (in cases where instructors want to get a more detailed level of information of « where » did the user have problems, not just a basic pass/fail condition.)

Example of Flow between ABB and 3DVIA:



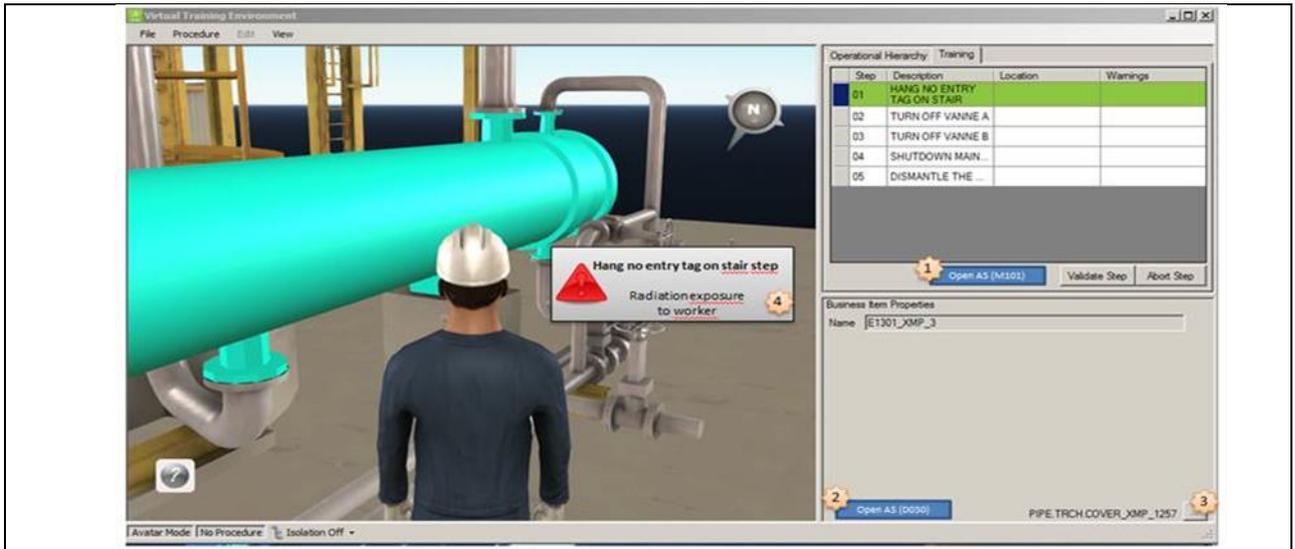
- ABB to send Maintenance procedure vs WO : XML (procedure (Tags) => 3DVIA VTFD 3D Model
- 3DVIA VTFD to get related 3D Model and link it : 3D CAD (PDMS or else) => XMPLANT => XMPLANT « 3DXM »L (3D+Product Structure+ Tags) => 3DVIA VTF

### **INTEGRATION REQUIREMENT**

Can be linked to AS-PQD. Training Game plan should be defined in DS, from the WO task and procedure. Information to be tracked are: WO task/number Equipment object of task, WO / Unit execution status, Equipment status, Associated risk or permit. The result of evaluation should be back in AS and review to tick skill granted. Not sure if anything else is required to build such training.

Comment from the 3DS meeting of Feb 5, 2014.

- 3DVIA doesn't manage user login, it will be proposed through the integration 3DVIA/ENOVIA. Even if not possible through ENOVIA to identify the login, we could encapsulate 3DVIA to call the application from AS and then track the user and result file as temporary workaround
- Define a possible way to add button on bottom right to open a AS Equipment panel URL (button n°2 on screenshot). 3DS plan to add several buttons to link 3rd party application passing URL + parameter. If possible, it would make sense to have several buttons to Open Equipment panel,
- WO Task panel to get further details about actual step (button n°1 on Screenshot) or other user definable panel or application  
Button (n°3) to jump on ENOVIA and get full details about Equipment.
- We potentially can have a URL opened in a browser that automatically opens during execution of the step WOT in demo or practices mode to display some contextual information. Doesn't work on the current version due to actual dataset but seems to be ok with a different one. we are more looking about a popup to give contextual information to trainee about the step (popup n°4 on screenshot). The plain text contextual of the step is part of the procedure built within Asset suite
- Column name on top of procedure can be renamed, the content can be changed using the XML
- It should be possible to display the label on Equipment plus the status, this information is available but does work on the current version. The label can be activated to be displayed by equipment profile and color scheme can be set based on equipment status.
- If the 3D object is an Electrical cabinet, then it should be possible to configure 3DVIA to display a series of switch to press. We can track that user press the right one
- Provide a feedback of the action done by the avatar, right or wrong
- Define how the result of the test can be loaded from 3DVIA and loaded in AS as of today the result generated file is kept on user desktop.
- Emergency and safety management is part of 3DVIA roadmap but not clearly defined yet.



## PRINCIPLES / METAPHORS





## SECOND GROUP

This section groups the innovations that relate to maintenance work planning. Work leverage on multiple aspects of the preparation, verification and control before executing the work. Then it makes sense to consider them part of the same innovation.

<b><u>DOMAIN</u></b>	Plant Information Experience / Experiential Work Instructions	1
<b><u>INNOVATION</u></b>	3D Planning – Assessment	1.C
<b><u>INNOVATION</u></b>	3D Planning – ALARA	1.D
<b><u>INNOVATION</u></b>	3D Planning – Clearance	1.E

<b><u>DOMAIN</u></b>	Operation driven Engineering	2
<b><u>INNOVATION</u></b>	4D Planning-Simulation	2.B

<b><u>ABB BENEFIT</u></b>		
Innovation connected to our core business; It will increase our credibility into the Generation Industry, especially reinforcing our work, worker & Plant safety strength and will reinforce our capability to reduce work planning time & cost. A part related to 2D Clearance view is supposed to be part of the CLM graphical Clearance capacity, it can complement or replace it. It will provide high value in Work Efficiency accuracy and completeness. Very useful for New build can enable to penetrate the EPC world... and reinforce our position in Brown field		
Domain improved	Work Safety, Work Awareness, and high value in Work efficiency.	
More License User	Not sure since we potentially target special job, activity done by Maintenance people that probably have already access to the solution.	
Create a new module	YES/NO will create a differentiator in the market, or can potentially replace the graphical view of Clearance we planned in our roadmap  Maybe if we want to group all 3D integration offering in one module when all these opportunities have been developed.	
<b><u>DASSAULT BENEFIT</u></b>		
<b><u>CLIENT BENEFIT</u></b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduce time spent on site to verify how job must be done.</li> <li>- Reduce access on containment zone and individual dose received in Nuclear. <b>** Critical **</b></li> <li>- Reduce time/cost for planning operation and planning Clearance operation <b>** Critical **</b></li> <li>- Allows to plan ALARA <b>** Critical **</b></li> <li>- Increase familiarization and accuracy for the operator in conduction the isolation process.</li> <li>- Simulate, identify and eliminate circumstance that can create issue &amp; conflict to perform or repositioning equipment that can cause delay in the outage or work maintenance</li> </ul>		

<b><u>INNOVATION</u></b>	3D Planning – Assessment	1.C
--------------------------	--------------------------	-----



<b>SCORE CARD (1 low – 5 high)</b>		
UNIQUE ON MARKET	5	Very few vendors pretend having some similar solution integrated, but quite recent
CUSTOMER VALUE	3	Good, but not essential
COMPLEXITY / EASINESS	3	Not too complex to implement
WOW FACTOR / INOVATIVE	5	Just Fantastic

**INNOVATION DETAIL**

Within the context of planning work order activity on the Model Work Order, Work Order or Task. Allows “interactive navigation” in a 3D view of the area of the Equipment to verify condition for execution of the WO, safety, tools and Risks assessment without having an employee to go into the plant or containment zone. We can imagine that it will also allow to:

- Do the right Job assessment and verification
- Identify the need for isolation
- Identify the radiation level (see innovation 3D Planning – ALARA for more detail)
- In 3D view visualize the label or equipment tag and associated information on equipment and maybe the relevant procedure manual or document,
- navigate into the plant and click on an identified Equipment to open the related panel in AS to have all detail about Equipment, History, ...
- Should have the possibility open popup windows and select Asset Suite or 3rd party application link to Documentum, eSOMS, ERS, Design tools for further detail and return.
- Should be able to pick note or relevant items to help building the WO package
- Get additional information related to the context and awareness of the job location, like showing the risk associated to location or equipment, information of the status of the unit (Operating, Outage or shutdown).

We can imagine that from AS – MOWO or WO or Equipment/UTC we can get in the 3D view directly where the job must be done or to see view the equipment.

Potentially can be group with other innovation (Planning – Simulation = Assessment, ALARA, Clearance and Simulation)

**INTEGRATION REQUIREMENT**

Need a 3D view of the plant or some area. Extract AS Equipment, UTC, ... to share be identified on 3D to position them on view. Information shared should also allow getting into the right detail information from 3D to AS panel and vice versa. We can allocate the 3D to class of equipment, Equipment level, Type, Asset Class, or UTC., permit, ... All of these are referenced in WO . ENOVIA to get 3D environment to allow user to freely navigate in 3D

- 3D CAD (PDMS or else) => XMPLANT => XMPLANT3D XML => ENOVIA + 3DLive

We also need that ENOVIA able to access third party data/object and track in a WO template or other mean the data that will be sent back to AS to create the draft WO package

Comment from 3DS meeting of 6 Feb 2014

- My understanding from the ENOVIA presentation is that the main purpose of the solution is to manage the WF and document change. Whatever is the nature of the “object” (Word, Catia, pdf, ....



Including data) ENOVIA can track object version, approver, and send the Object to user/application according to the status of the object.

- ENOVIA can manage the full Design and EPC process of a new build.

**PRINCIPLES / METAPHORS**



<b>INNOVATION</b>	3D Planning – ALARA	1.D
-------------------	---------------------	-----

**SCORE CARD (1 low – 5 high)**

UNIQUE ON MARKET	5	Doesn't exist on market, DS did a part of it in a POC for EDF
CUSTOMER VALUE	3	Good, but not essential, dedicated team does it for operator
COMPLEXITY / EASINESS	1	Very Complex to implement
WOW FACTOR / INOVATIVE	5	Just Fantastic

**INNOVATION DETAIL**

Within the context of planning work order activity on the Model Work Order, Work Order or Task. Allows “interactive navigation” in a 3D view of the area of the Equipment to verify based upon survey understand / calculate what expected dose will be received for the work without having an employee to go into the plant or containment zone. It should be able to view a representation of the radioactive emission like colored fog (comment: This can be done... but where does this information reside? Is its tabular data, an equation? some other data source?), and allow simulate through navigation in the plant avoiding radiological zone that can be marked.. This will be used mainly during Radiation Work Permit planning. (comment: What will be required for planning? Determining an optimal pathway that minimized radiation, and then showing that to the user? Something else that requires additional 4D simulation ?)

**INTEGRATION REQUIREMENT**

Need a 3D view of the plant or some area. Extract AS Equipment, UTC, ... to share be identified on 3D to position them on view. Information share should also allow getting into the right detail information from 3D to AS panel and vice versa. We can allocate the 3D to class of equipment, Equipment level, Type, Asset Class, or UTC., permit, ... All of these are referenced in WO. It needs to position the radiological map of the plant and visualize (colored fog) a way to identify the different type of radiation. Consistent and faithful ALARA data needs to be processed and delivered by a certified algorithm and then computed within 3DVIA to get colored zones depending on radiation activity, and cumulative radiation on AVATAR should also be calculated and highlighted depending on AVATAR's path/way.

**PRINCIPLES / METAPHORS**



<b><u>INNOVATION</u></b>	3D Planning – Clearance	1.E
--------------------------	-------------------------	-----

**SCORE CARD (1 low – 5 high)**

UNIQUE ON MARKET	5	Doesn't exist on market
CUSTOMER VALUE	3	Good, quite important for operator, lot of regulatory constraints
COMPLEXITY / EASINESS	1	Very Complex to implement
WOW FACTOR / INOVATIVE	5	3D View - Just Fantastic

**INNOVATION DETAIL**

Within the context of planning and execute clearance, allows navigation in a 2D/3D view of the area of the Equipment to verify Clearance process and especially the ability to see from 2D/3D the clearance area when operator “tag-in” an equipment-item, as well as the extension of this clearance area when he “tags-in” other equipment. Allows highlighting the simple and multiple tag. We can imagine that it will also allow to navigate into the plant and click on an identified Equipment or tag to open the related panel in AS to have all detail about Equipment, History, ... We can imagine also that from AS – Clearance or Equipment/UTC we can get in the 3D view directly where the isolation/clearance job must be done or to



see if there is already a clearance that can be leveraged to do an additional job while Equipment/system shutdown or isolated. Potential valuable scenario: “VISUAL ISOLATION” related to Clearance process

- We need such 2D P&ID + 3D model environment to safely and efficiently prepare clearance (boundaries around a maintenance operation)
- We could then visualize the steps rather than get a text list, identify conflicts between “tag-ins”, know the equipment status (valve blocked on “open” status because of a “tag-in”, ...)
- We could improve the plan/schedule of maintenance work orders considering 2D/3D context: we could leverage some previous isolations/clearance to merge several maintenance operations requiring same isolation, ... Easier to identify in a 2D/3D context
- The easy-to-use 3DVIA virtual training environment would then allow operators to be trained on this optimized sequence

Need to verify how this will overlap or impact the current CLM approach

**INTEGRATION REQUIREMENT**

Need a 2D/3D view of the plant or some area. Extract AS Equipment, UTC, Tag &Label ... to share be identified on 2D/3D, to position them on view. Information shared should also allow getting into the right detail information from 2D/3D to AS panel and vice versa. Need to extend and view existing Tag and referenced information of WO/Clearance job. We should also be able to access the “real-time value” of some attributes (such as valve position, flow level, ...) this is needed information for most maintenance and clearance processes Need to have intelligent P&ID and extra computation to identify the isolated areas when acting on equipment/lines/etc....

**PRINCIPLES / METAPHORS**

The slide titled "Work Management – 3D Clearance" illustrates a software solution for nuclear power plants. It features a central software interface window with various data fields and a 3D virtual environment of a plant. Callout boxes highlight key features: "WO Planning" (Work Order Planning), "See where the Equipment located" (visualizing equipment location in 3D), "And how to operate it" (operational instructions), and "The associated Clearance" (clearance requirements). A sidebar on the left lists system capabilities: Desktop, Mobile, and Other Systems, along with tasks like Work Against, Accounting, Instructions, Resources, Materials, Documents, Permits, Contracts, and Tools/Equipment. A "WO Backlog + Forecast" section is also visible.

<b><u>INNOVATION</u></b>	4D Planning-Simulation	2.B
<b><u>SCORE CARD (1 low – 5 high)</u></b>		
UNIQUE ON MARKET	5	Unique, never seen this anywhere



CUSTOMER VALUE	3	Good, but not essential, this apply only for exceptional work
COMPLEXITY / EASINESS	3	Might be complex and difficult to use
WOW FACTOR / INOVATIVE	5	Just Fantastic

### **INNOVATION DETAIL**

Operating Maintenance and outage work task not subcontracted to large contractor (i.e.: AREVA) would need to verify if the work planned can be executed without having conflict with other task and activities.

Especially it will allow to see the sequence of the WO task been executed and identify potential physical conflict and logistical positioning of critical equipment during Outage and critical maintenance.

Somehow this is an extension of the innovation 1C, but only at reasonable cost. A typical scenario would be:

- A planner needs to verify sequence of execution and possible constraint associated to a list of WOs planned. Unit status may not specifically be shut down or in outage phase.
- From Asset Suite planner select the Project or list of WOs based on search criteria, including planned date for execution and other associated information related to the WO; like tools, resources, clearance request, material need, container and special configuration of the plant at that time.
- The list of WOs is being loaded into the ENOVIA/DELMIA and displayed on a schedule format.
- 3DS solution can be used to set the predecessor and additional execution sequence
- 3DS solution will allow to visualize on the 3D view the configuration of the plant for each phase of the execution of the job, like the number of people, main tools move, container and tool location, physical plant status (reactor vessel open), ...
- At this stage we are not expecting that 3DS to provide alert on constraint violation, since it will be too complex to transform and display different constraint manage by multiple source of data. However, the representation should enable the user to be proactive facing a situation like polar crane moving container above reactor vessel while it is open.
- The other type of information we expect 3DS would enable to verify are:
  - o Charge load on floor, roof building or grates,
  - o Max number of people on limited area
  - o Proximity of other work or isolation at the same time
  - o Status of main critical equipment or tools (vessel head open, Equipment hatch, tripod, automated stud tensioners for opening and closing reactor pressure vessels, ...
- Except the final updated schedule start/end date for each WO, no automated feedback is expected from this constraint checking phase. The planner is supposed to use 3DS solution to review the information and take the appropriate decision. Then he can review the sequence in 3DS of the content of the job in AS.
- The 3DS solution should also be able to provide a 3D view printed of the reactor building with the position of container, main tools, container and other critical items for the morning briefing or at the start of each of the Outage phase.

Depending of the cost of building such simulation it could extended to maintenance online

### **INTEGRATION REQUIREMENT**

Need to link DELMIA & AS Equipment registry and hierarchy.

- Digitalize paper P&ID to get an “intelligent electronic P&ID”(a map of interconnected objects with attached attributes and behaviors)
- Be able to interconnect all the elements/objects of this P&ID with 3D model as well as with description of the objects/elements and related attributes)

- P&ID will remain the entry point for maintenance processes as it represents the functions with related Logic to maintain.
- Extract AS Equipment, UTC, ... to be identified on 4D, to position them on view.
- Requires a solution that enables quick and low cost 4D planning & simulation application development.

How does this integrate with Primavera?

What additional value this will bring in addition to conflict allocation checking covered by Primavera.

In general, Primavera and scheduling tools focus on sequence execution and resources conflict for a set of WO/Job task. The purpose of this innovation is to check operating and business constraints.

- ABB to send concurrent WO in DELMIA:  
WO1 (Tag + list ops), WO2 (Tag + list Ops) => DELMIA (possible depending on Format: CSV, ...)
- Delmia to get 3D link it to previous WO to do 3D Simul 3D, resource mgt, clash detection, 3D CAD (PDMS or else) => XMPLANT => XMPLANT3D XML => ENOVIA => DELMIA

**PRINCIPLES / METAPHORS**



## THIRD GROUP

This section groups innovation that relate to ENGINEERING/CONSTRUCTION/MAINTENANCE LEAN HANDOVER: template, scan and link the data from different source to AS and 3DS that can have referenced hot spot to link to another information into AS and vice versa. These innovations don't necessarily need to be developed together.

<b><u>DOMAIN</u></b>	Lean Handover & Operation driven Engineering	2
<b><u>INNOVATION</u></b>	TAG 2D-PID/3D cross References	2.A
<b><u>INNOVATION</u></b>	Standard Template EPCOM Doc Sharing	2.C

<b><u>ABB BENEFIT</u></b>	
<p>Innovation connected to our core business; It will increase our credibility into the Generation Industry, especially reinforcing our work, worker &amp; Plant safety strength and will reinforce our capability to reduce work planning time &amp; cost. It will provide high value in Work Efficiency accuracy and completeness.</p> <p>Very useful for New build can enable to penetrate the EPC world... consolidate our New Build strategy and value proposition and enable to penetrate the EPC world... and reinforce our position in Brown field</p>	
Domain improved	Work Safety, Work Awareness, Aging Work force.
More License User	Yes, as the Engineering users have not traditionally a lot of user accessing EAM. It can then attract more to see information available to do their job. Yes, also since it will allow selling our generation solution earlier in the EPC than waiting for Commissioning or Operation.
Create a new module	Maybe for New build, if we want to group a set of module and feature to a "New Build solution"
<b><u>DASSAULT BENEFIT</u></b>	
<b><u>CLIENT BENEFIT</u></b>	
<p>Quite critical for NPP, to capture the data and keep it synchronize. Re-used a lot of document that become easy to use for WO planning or read only. Essential for Brown field.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Get the right document at the right time from anywhere in the EAM solution or mobile device.</li> <li>- Reduce the % of document unmaintained - Around 50% of the Engineering documentation delivered in the early phase of the EPC is not maintained after handover and sometimes even during the EPC. Impact - Late adoption of EC, inefficient handover practices, project risk not managed</li> <li>- Reduce the effort to maintain "Digital Data" produced and delivered by manufacturer and supplier requires intensive business process and client organization that doesn't exists today. Impact – Lack of trust in data, Inconsistent supplier/manufacturer data standards that are difficult to maintain</li> <li>- Data captured from one system and business function are not automatically shared to other management function across integration of system. Impact – delay in decision making process, data replication, loss of data</li> </ul>	
Address lack of traceability of regulatory compliance into design.	



- Start of construction before design completion (including changes imposed by owner), lot of digital data being delivered on the course of Design and EPC (mainly through documentation) - Impact - Project delays and program risks, penalties, meets licensing requirements
- There is no single format available yet to structure that digital data (including documentation) - Impact – Multiple data standards and inconsistencies of ‘what is latest’, Non-compliances with regulatory authorities for asset information integrity
- Insufficient incorporation and traceability of regulatory requirements into design and lack of reliability of process, insufficient schedule integration and communication between suppliers and owner - Impact – Compliance, reporting processes for regulative and safety assessors, Project delays.
- Nuclear regulators have reinforced the need of best management practices “evidence”. EPC and Operation must follow the same strict process for CAP and change management as the result of lessons learned from Fukushima. Impact- inability to combine and prove data integrity, lost time to locate, analyze and provide reporting evidence regarding process
- Operation starts maintaining certain component as soon as they have been handed over from EPC, in parallel as EPC continue. Impact – Lack of accuracy in planning for commissioning and plant testing, inability to compare to similar fleet asset registers
- The number of different projects handled by the operator, and the obligation of traceability require from the Operator to have dedicated business practices to control Equipment revision and status. Impact – Lack of configuration management can have a dramatic impact to all organizations throughout the NPPs’ lifecycle
  - o Procurement is not able to procure the right materials when needed. This impacts project cost and completion schedule.
  - o Installation (Fabrication & Construction) is not able to install items and packages when needed. This has an impact on cost and schedule to complete the plant.
  - o Commissioning is delayed in plant start-up. This impacts the plant schedule and immediate revenue opportunity.
  - o Operations is not able to perform maintenance actions, which impacts plant reliability with potential safety consequences

<b><u>INNOVATION</u></b>	TAG 2D-PID/3D cross References		2.A
<b><u>SCORE CARD (1 low – 5 high)</u></b>			
UNIQUE ON MARKET	4	The result having 2D/3D document accessible from EAM is not unique, the process might be innovative and unique.	
CUSTOMER VALUE	5	Very good, this is the key to set the link between Eng. & Operator	
WOW FACTOR / INOVATIVE	2	The innovation is more on process than result	
COMPLEXITY / EASINESS	3	Quite complex to implement	
<b><u>INNOVATION DETAIL</u></b>			
<p>Maintenance people needs easy and efficient access to the right updated documents AND relevant information related to the equipment and the plant that they daily serve. Leverage on DS capability to digitalize existing doc and add hot spot referencing the equipment and link to AS. Depending of the cost and effort capturing the data, the benefit could be at multiple level and if reasonable cost, could include creation of BOM, Spec, ...</p> <p>Relates also to the capability from ABB solution of accessing document and data in the DS solution to review, update a doc, PID, PPMS, .... providing an extension to the Engineering solution for the Operation &amp; Maintenance team. It should also provide capability to set up Workflow across the ABB</p>			



EAM and DS solution. This is not a unique solution but would be somehow the framework that will be re-used for the other innovation.

- Be able to interconnect all the elements/objects of this P&ID with 3D model as well as with description of the objects/elements and related attributes)
- P&ID will remain the entry point for maintenance processes as it represents the functions with related Logic to maintain.
- We should also be able to access the “real-time value” of some attributes (such as valve position, flow level, ...): this is needed information for most maintenance processes

Especially if we consider that only 10% of the Engineering documentation are available on 3D, and 90% in other format on which +70% of them are only procedure manual in word or pdf document which are almost impossible to index and reference. So, it means that only 25% of the documentation is available in 2D schematic or drawing, but still represent a large volume of documentation unused or difficult to access from the operation side, and difficult to maintain. Unless we misunderstood, we need to make sure that that 3DS, is that they have digitized tools that allows to transform 2D paper in 3DS. If not, it means that we will have the use third-party company in India and therefore it will not be cost effective. ENOVIA can highlight in 1 single screen 3 windows with cross-references between TAG metadata and corresponding Tag ref in P&ID and corresponding Tag reference in 3D Model In the context of Brown field, the main challenges are the cost and volume, despite the interest for transforming the 2D paper document, in a 2D numeric indexed document. The value for the client doesn't seem to be easy to demonstrate. The cost doing such 2D conversion is still high.

The volume of 2D document to scan is too large to consider a mass scanning approach

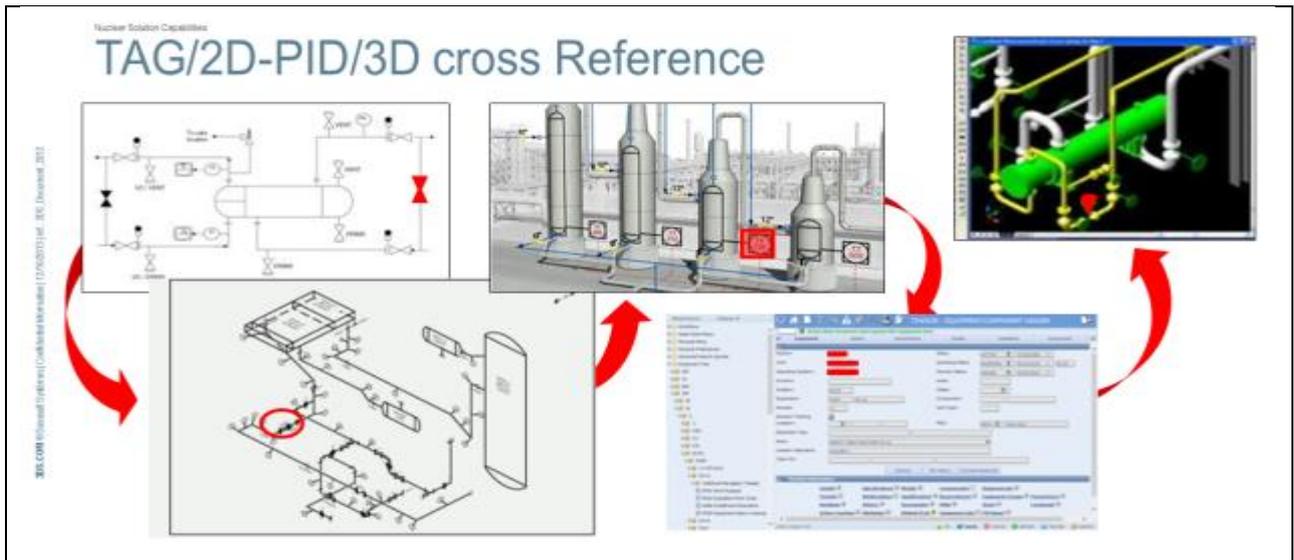
The client even may have difficulty to identify at least 200 2D documents that will need digitalization and indexing. The only relevant case identified is the clearance, where it is relevant to use 2D/3D view of the plant to prepare isolation and quick and efficient way. In the context of Green field, the situation is very different since most of the 2D document are already digitized and indexed, it would be easy to keep the link across AS and the 2D document stored in 3DS solution.

### **INTEGRATION REQUIREMENT**

Need to link ENOVIA & AS Equipment registry and hierarchy.

- Digitalize paper P&ID to get an “intelligent electronic P&ID”(a map of interconnected objects with attached attributes and behaviors)
- Extract AS Equipment, UTC, ... to be identified on 2D/3D, to position them on view. Information shared should also allow getting into the right detail information from 2D/3D to AS panel and vice versa.

### **PRINCIPLES / METAPHORS**



<b>INNOVATION</b>	Standard Template EPCOM Doc Sharing		2.C
<b>SCORE CARD (1 low – 5 high)</b>			
UNIQUE ON MARKET	4	Doesn't exist, Capgemini is trying to do it on AVEVA	
CUSTOMER VALUE	5	Very good especially handover testing & data load from design	
COMPLEXITY / EASINESS	2	Depending of the solution & scope chosen, might be very complex or quite simple	
WOW FACTOR / INOVATIVE	3	The innovation is more on process than result	
<b>INNOVATION DETAIL</b>			
<p>This innovation lead to the capability to leverage solution strength of DS during Design &amp; EPC phase and the ABB during operation to provide a longer legitimacy of DS solution after the EPC and anticipate the use of ABB solution before the traditional commissioning phase</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Define a joint format/template for loading the data delivered from contractor, manufacturer and other supplier into our both systems to keep the synchronization from Day 1 of the equipment.</li> <li>- Enable to maintain equipment delivered before commissioning starts. Enable to initiate change design at during construction and tracking the change in all systems. (Supposed to be addressed also by innovation 2A &amp; 2B.</li> <li>- Leverage on the Plant Operation solution for inspection, test and clearance during the EPC, testing and pre-commissioning phases.</li> </ul>			
<p>If we consider in the case of New build, that most of the documentation is already available in 2D/3D digitized format. The challenge is to decide if we intend to have API able to read the native format of the document/deliverable from manufacturers &amp; suppliers to extract the referenced information or only build a template used by the client to download the referenced data in a common format that ABB will be able to load in AS. This second option doesn't allow building the referenced link between 3D data and AS data.</p>			
<p>It is to be noted that INPO has posted guideline defining what document the manufacturer should deliver and what format &amp; detail they should be. Having access to these INPO Standard should the to understand</p>			

what can be done for an easy and early configuration of the AS data. The ISO 15926 is also a standard being used by supplier for data integration, sharing, exchange, and hand-over between computer systems.

Example case:

- It will allow to go after a New Build project in ME, where they plan to use DS solution and tell them that we have the standard connector to load 3DS data into the EAM – so it will save a huge time.
  - on his side DS value proposition can be based on their solution has pre-defined connector to AS.
- The point here in term of value is that not a creating a differentiator, but more make sure to not have a gap.

### INTEGRATION REQUIREMENT

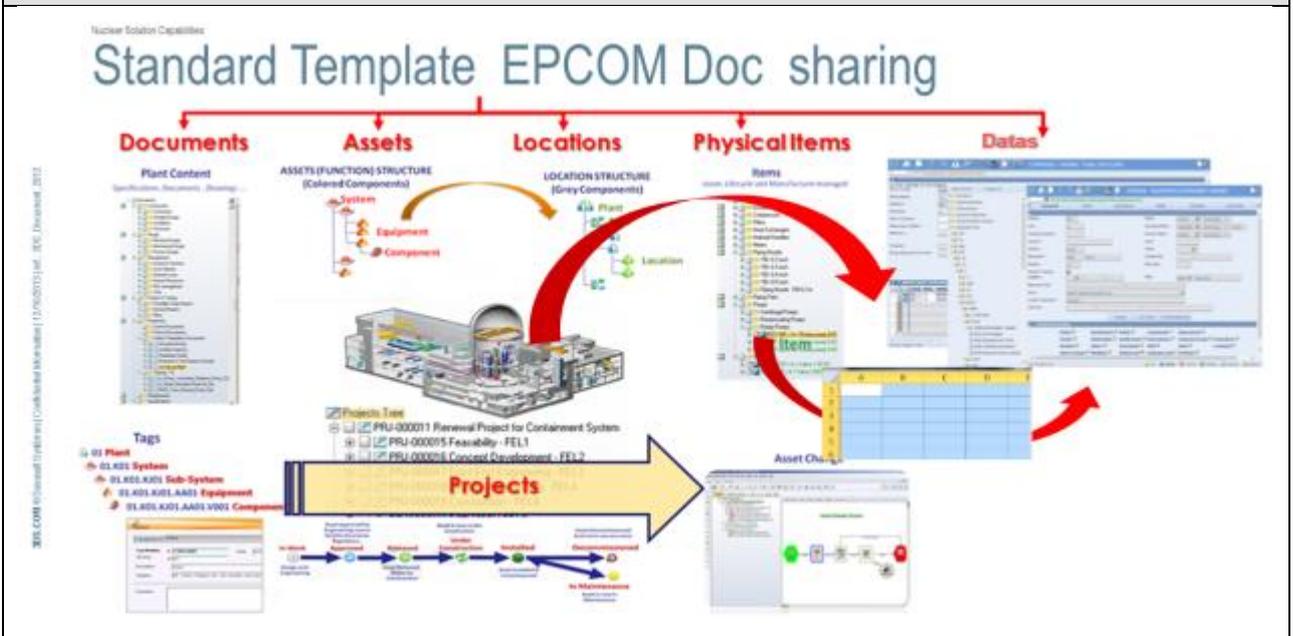
Need template, mapping of the data allocation / system destination and process.

Needs AS Equipment, UTC, and Documentation to be shared in both systems and controlled in one.

Comment from 3DS meeting of 6 Feb 2014

- My understanding from the ENOVIA presentation is that the main purpose of the solution is to manage the WF and document change. Whatever is the nature of the “object” (Word, Catia, pdf, .... Including data) ENOVIA can track object version, approver, and send the Object to user/application according to the status of the object.
- ENOVIA can manage the full Design and EPC process of a new build.
- It seems possible to identify at some specific status of the “Object” design to apply a template to identify the reference data that should be exported to be loaded into AS (Asset UTC, BOM, Characteristics, Applicable document, Procedure manual).

### PRINCIPLES / METAPHORS



## ANNEXE 2

### ABB NUCLEAR SOLUTION

Support plant life cycle from Design to Decommissioning & Dismantlement

# ABB Ability™ Asset Suite

ABB ENTERPRISE SOFTWARE – EUROPE

MAR 2019

## ABB Nuclear Solution

Support plant life cycle from Design to Decommissioning & Dismantlement

Michel VOUILLE – VP Business Development International



## Setting the standard in power generation

No other provider comes close

### ABB Enterprise Software

125+ years of **industry knowledge**

35+ years of **software innovation**

The **broadest IT/OT software portfolio**, power & automation solutions, and services

**Proven experience** solving the largest and most complex digital transformation challenges



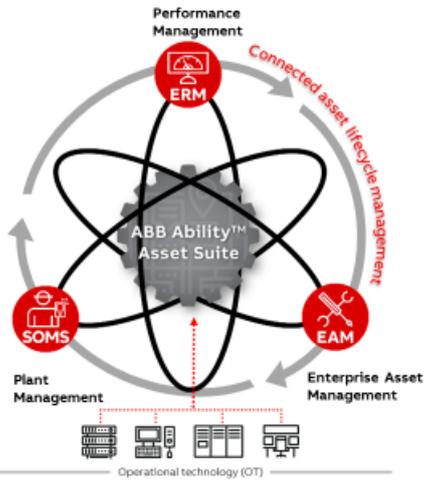
©ABB  
Mar 2019

| Slide 2 | ABB Ability - Asset Suite - Nuclear plant Information system

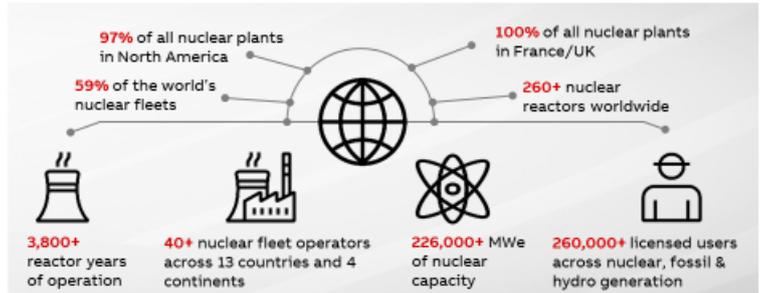


## Setting the standard in nuclear generation

### ABB Ability™ Asset Suite



- Tracking of **7 million assets** and over **2M work orders**
- **50% reduction** in outage planning time
- **50% reduction** in production loss
- **\$3-5M savings** in replacement power costs alone by reducing a major plant outage by one week
- **\$4-6M savings** in man-hours through 94% reduction in number of tags processed



## ABB Ability Asset Suite wins WNE Operational Excellence Award

World Nuclear Exhibition's Operational Excellence Award 2018, large companies category

The award recognizes our 30+ years of delivering the highest-quality products, projects and support to the nuclear industry, applying industry standards from NEI, INPO, WANO and IAEA for nuclear performance and safety.



## Largest footprint covering the whole lifecycle



©ABB  
Mar 2019

Slide 5 ABB Ability - Asset Suite - Nuclear plant Information system



## ABB collaboration with international organization

ABB nuclear solutions support international standards



ABB is the sustainable investment for nuclear performance

©ABB  
Mar 2019

Slide 6 ABB Ability - Asset Suite - Nuclear plant Information system



# ABB Ability – Asset Suite MDM

Master Data Management & Plant Life information system



## ABB Solutions for New Build, refurbishing and plant life extension

Nuclear New Build – business drivers

### Drivers & Trend

Increased level of safety requirements due to Fukushima  
Complex design, licensing, during the EPC to Operation process  
Significant Capital Investment in Refurbishment & New Build - Reducing EPC duration phase  
Energy market price drives for an optimized EPC & Operation cost  
Different project business models (BOO, BOT, BT, ...)  
Decommissioning strategy needed from the time of licensing  
Life extension projects

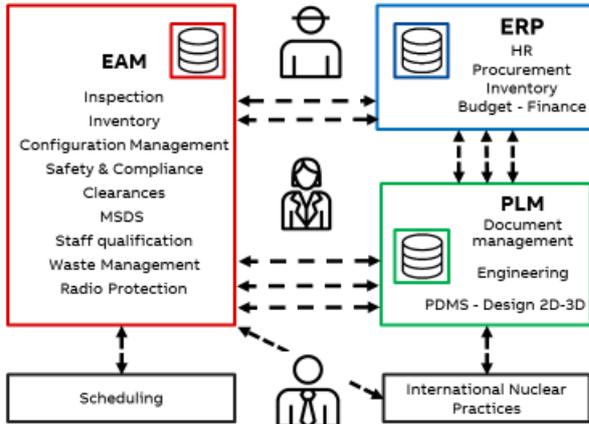
### Requirements

Single source of data & Digital Hub to manage EPC and Pre-Operation Information (PLM+EDMS approach)  
Enterprise Asset Management (EAM) + BOM data, CAD 2D/3D/4D & Doc (PDM)  
– More detailed design & Risk analysis  
– High visibility of the project (Compliance & Defect Management)  
– EPC cost and schedule control  
EAM (Preliminary Planning) + PPM (Scheduling), 4D (Simulation)  
– Workforce & Contractor training  
– Strict local Regulatory Compliance  
– Manage the entire lifecycle from day 1

### Activities

Construction project phases:  
– Approvals granted, building construction and equipment installation in progress  
Recurring activities  
– Construction schedule review  
– System test and acceptance  
– Defect review and management  
– Nuclear authority communication  
– Equipment turnovers to the Operator  
Initial testing by operations  
– Initial operations training and qualification  
– Integrated systems testing

## Nuclear information system has evolved



The annual loss of capital facilities industry due to lack of interoperability has been estimated around 1-2% of their annual revenues<sup>1</sup>

2/3 of these costs are paid by owner/operator for ongoing maintenance and operation of the plant.

Applying this ratio to a nuclear power plant, with an average annual revenue of \$230M, the potential savings can be around \$1M-\$2M per year, per unit.

1 - Cost Analysis of Inadequate Interoperability In the U.S. Capital Facilities Industry (NIST GCR 04-867 Aug 2004) from NIST U.S. Department of Commerce Technology Administration

## Plant Life Management / Enterprise Asset Management

PLM & EAM have their own evolution based of market needs



## PLM vs EAM

Each Domain has its own value Proposition

### PLM

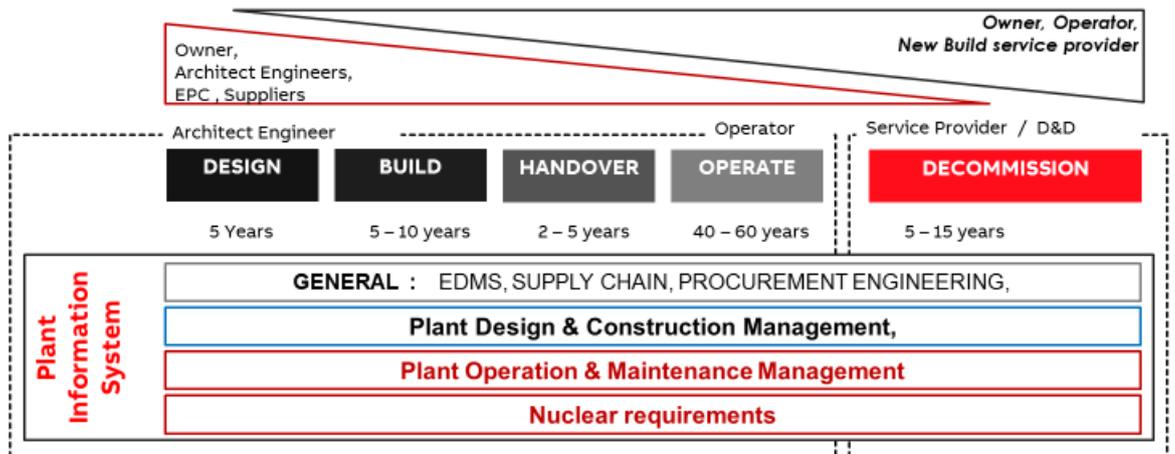
- Manage Requirements
- Manage Configuration and Changes
- Manage Collaboration between suppliers
- Manage Design
  - PDMS/CAD integration provides 3D view of asset
  - Link design requirements with design configuration
- Manage construction
  - Procurement and supply chain
  - Planning
  - Delivery
- Sustainable Solution
  - in use for over 30 years in various Industries

### EAM

- Operational Excellence
  - Safety & Compliance + Cost control + Increased load Factor
- Plant Data Configuration
  - 'Single source of truth' for data
  - Accurate equipment database
  - Keep data synch with the "As Operated"
- Asset Health management
  - Unify information across utility
  - Standardized best practices for Work
- Sustainable solution
  - in use since +30 years by lot of nuclear generation companies

## The vision of Master Data Management

Plant Life Information system - Covers all functions & domains



## Vision of the Master Data Management

A single source of truth



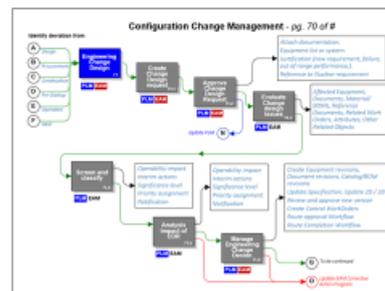
## From regulator & industry expert to product features

The approach we use to get there

Guideline & recommendation



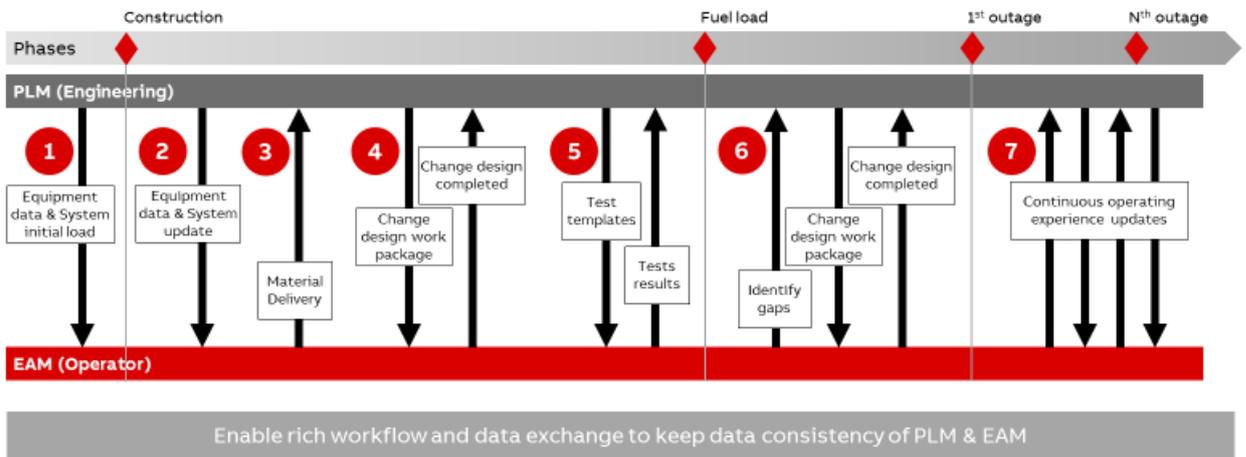
Business Process design



Identify integration points

- EAM – create Equipment Data
- EAM – Update Equipment Data
- EAM – Create material requirement > PO
- EAM – receive material
- PLM – Material received
- EAM – Create material to maintain
- EAM – Create MOWO for testing
- PLM – Testing plan approved
- PLM – Return Test completed measures
- PLM – Issues requiring change design
- .....

## ABB vision of Nuclear Information System



©ABB  
Mar 2019

Slide 15 ABB Ability - Asset Suite - Nuclear plant Information system

ABB

## New build process flow



©ABB  
Mar 2019

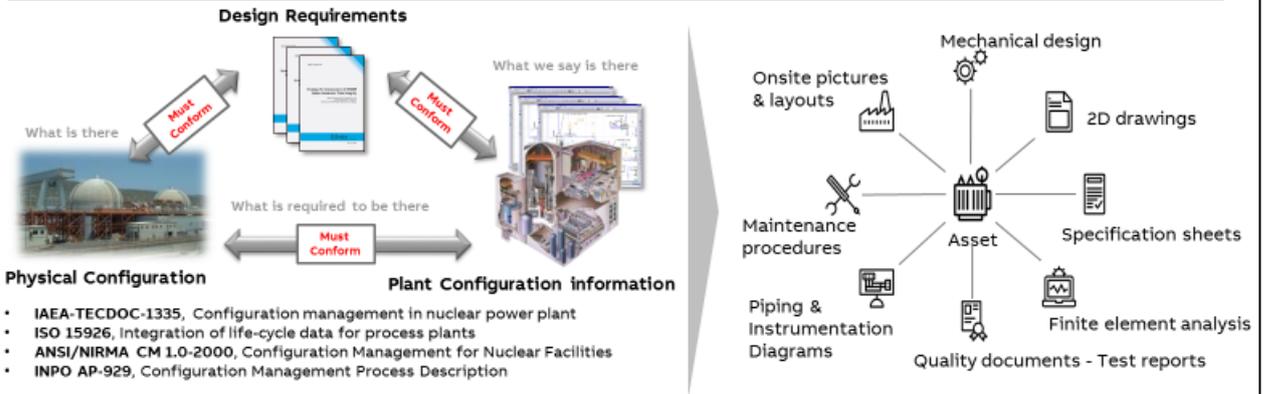
Slide 16 ABB Ability - Asset Suite - Nuclear plant Information system

ABB

## ABB vision of Nuclear Information System

What does regulator require ?

**Configuration Management for New Build & Operating units is part of the plant obligation**

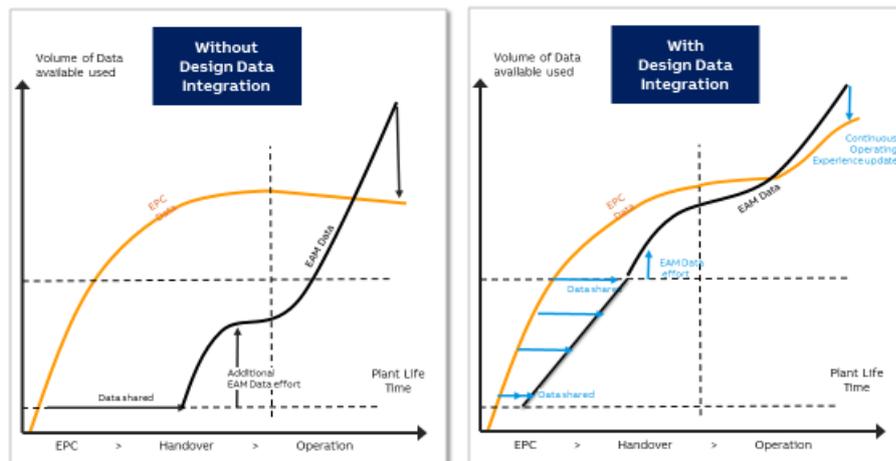


©ABB  
Mar 2019 | Slide 17 ABB Ability - Asset Suite - Nuclear plant Information system

ABB

## Synchronize PLM – EAM Master Data Model

Integration & Sharing Data



©ABB  
Mar 2019 | Slide 18 ABB Ability - Asset Suite - Nuclear plant Information system

ABB

## ABB Solutions for New Build, refurbishing and plant life extension

### Benefits

#### Plant life information system enable progressive Data

Real time data load to EAM avoiding the post-commissioning peak work load

Plant life information system data is automatically loaded in EAM and remains synchronized

Reduce by almost 80-90% the dataload effort during EAM configuration.

Reduce the effort to maintain "Digital Data"



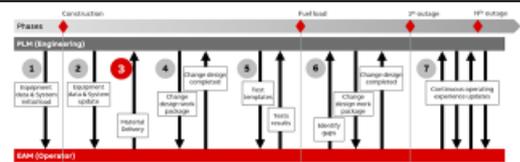
©ABB  
Mar 2019

Slide 19 ABB Ability - Asset Suite - Nuclear plant Information system

ABB

## ABB vision of Nuclear Information System

Supply, receive, inspect, store and maintain material

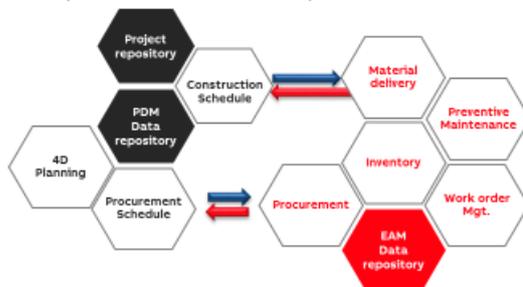


### Workflow

Process requirement in Supply chain / EAM

Generate PO, receive & inspect material,

Document preventive maintenance requirements



### Engineering

- Equipment or material or Services to purchase
- Get receive & inspection status to process construction schedule
- Request material from warehouse

### Operation

- Create contract, Purchase Order, Commodity, UTC
- Receive material, complete inspection
- Store in warehouse, create bin location
- Create PMRQ and Model Work Order
- Generate Preventive Maintenance WO

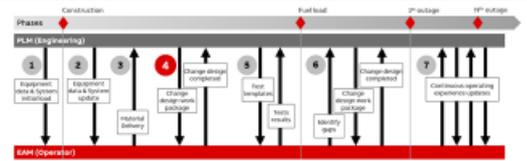
©ABB  
Mar 2019

Slide 20 ABB Ability - Asset Suite - Nuclear plant Information system

ABB

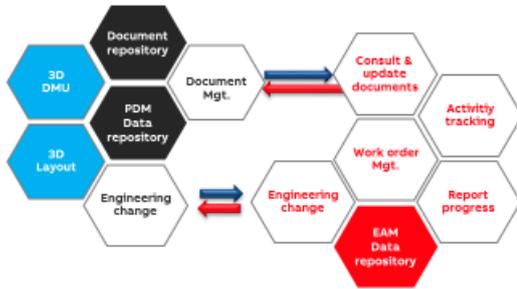
# ABB vision of Nuclear Information System

Adding accuracy in the construction design change process



## Workflow

Change design during construction, document, assessment  
Revert changes to operation for tracking and keep data accuracy



## Engineering

- Document authoring, Virtual training,
- Pre-Job briefing, Operation rehearsal,
- Engineering change management,

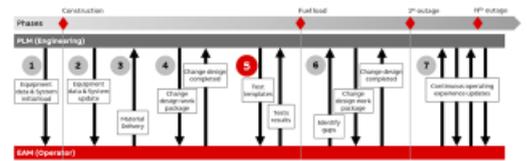
## Operation

- Inspection,
- Turnarounds,
- Preventive and corrective maintenance
- Work order management
- Work execution & tracking



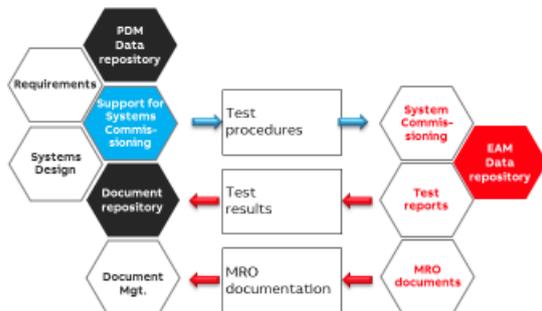
# ABB vision of Nuclear Information System

Collect critical information during handover testing for future operations and post maintenance optimization



## Workflow

Systems commissioning & handover



## Engineering

- Test & commissioning procedures,
- Standard Operating Procedures,
- Final "As Built" documentation
- Analyze & justify gaps

## Operation

- Document Inspections
- Maintain & improve procedures (MRO documentation)
- Create model Work Orders (MOWO)
- Work Orders: plan, generate, launch, complete



# ABB Solutions for New Build, refurbishing and plant life extension

## Benefits

### Design Change & Configuration Management efficiencies

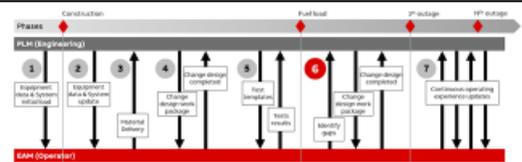
DATA shared across all key stakeholders through the PLIS

- Get the right document at the right time from anywhere
- Reduce the % of unmaintained doc.
- Reduce the effort to maintain "Digital Data"
- Address lack of traceability of regulatory compliance from design to operation
- Control document access with export control security
- Manage document lifecycle in operations



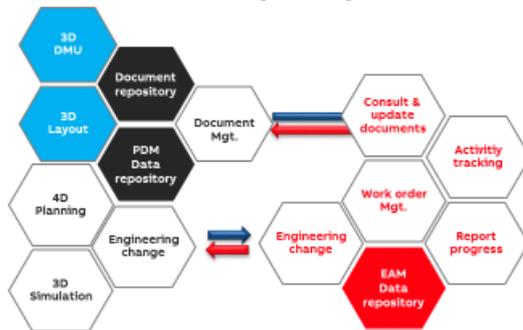
# ABB vision of Nuclear Information System

Enable digitization of the change design process between Operations and Engineering



## Workflow

Corrective action program, post maintenance testing Operations, Maintenance & Outages management



## Engineering

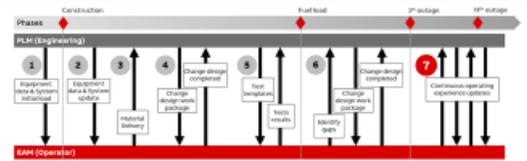
- Document authoring, Virtual training,
- Pre-Job briefing, Operation rehearsal,
- Engineering change management,
- Virtual simulation, Impact and clash analysis

## Operation

- Inspection,
- Turnarounds,
- Preventive and corrective maintenance
- Work order management
- Work execution & tracking

# ABB vision of Nuclear Information System

Continuous operating experience update



## Workflow

### Deviations

- Track post maintenance testing deviations and detail for better Engineering analysis

### Return of experience

- Collect WO history and capitalization for Operations & Engineering analysis
- Trends – Alarms – Event tracking from operations before too late

### Configuration Management

- Allows Engineering and Operator to keep up-to-date their own view of plant configuration (single source)

## Reduce unplanned outage / Reduce cost

Around 25% of reported events in Nuclear Power Plants could be avoided with stronger configuration management processes. Reduce cost to maintain the initial data accuracy by automatically upload the Design Configuration of plant design data in EAM. Seamless support the handover process system by system

## Better access to Engineering data for Operations

View of master data management, operators can leverage the advanced features of PLM to provide efficiency in special activities. 3D model and virtual navigation allows virtual training or qualification of staff. Engineering data allows a planner to be even more effective and identify potential conflicts using a 3D/4D

