



PROfil

Introduction à l'ingénierie des installations nucléaires

Georges Sapy

Introduction à l'ingénierie des installations nucléaires

Georges Sapy

Imprimé en France
ISBN : 978-2-7598-0714-7

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2012

Paper reactors, real reactors

“An academic reactor or reactor plant almost always has the following basic characteristics: 1) It is simple. 2) It is small. 3) It is cheap. 4) It is light. 5) It can be built very quickly. 6) It is very flexible in purpose. 7) Very little development is required. It will use mostly off-the-shelf components. 8) The reactor is in the study phase. It is not being built now.

On the other hand, a practical reactor plant can be distinguished by the following characteristics: 1) It is being built now. 2) It is behind schedule. 3) It is requiring an immense amount of development on apparently trivial terms. Corrosion, in particular, is a problem. 4) It is very expensive. 5) It takes a long time to build because of the engineering development problems. 6) It is large. 7) It is heavy. 8) It is complicated”.

Amiral Hyman RICKOVER - Juin 1953

Promoteur de la *propulsion nucléaire* de la flotte de guerre américaine (Sous-marins et porte-avions), il est aussi à l'origine de la *première centrale nucléaire civile de production d'électricité à eau pressurisée* des États-Unis.

This page intentionally left blank

Table des matières

Préambule	1
À QUI cet ouvrage s'adresse-t-il ?	3
Introduction	5
L'ingénierie nucléaire est-elle spécifique ?	8
Quelles conséquences sur les compétences et formations requises ?	11
Autres caractéristiques de l'ingénierie nucléaire	13
Principaux « macro-processus » de l'ingénierie nucléaire et plan de l'ouvrage	13
Chapitre 1 • Les installations nucléaires de base (INB)	17
Classement des installations nucléaires en France	18
Panorama des principales INB françaises actuelles	19
Les réacteurs de « Génération III »	23
Les réacteurs de « Génération IV »	26
ITER et les futurs réacteurs de fusion	32
Principaux acteurs de l'ingénierie nucléaire en France	34
Perspectives de l'ingénierie nucléaire à court, moyen et long termes	36

Principaux concurrents mondiaux pour la fourniture de réacteurs nucléaires de puissance	38
Formations académiques du domaine nucléaire, en France et à l'international	41
Chapitre 2 • Cadre organisationnel et réglementaire	
Les autorisations administratives	45
Bases de la démarche de sûreté, radioprotection, sécurité	46
Bases physiques de la sûreté et radioprotection pour les réacteurs nucléaires	47
Les acteurs de la sûreté nucléaire, radioprotection et sécurité en France	48
La réglementation technique applicable aux INB dans le domaine de la sûreté	56
La réglementation applicable aux INB dans le domaine de la radioprotection	62
La réglementation technique applicable aux INB dans le domaine de la protection contre la malveillance	64
Les procédures d'autorisations administratives des INB	65
Aspects juridiques des activités nucléaires internationales	69
Chapitre 3 • L'ingénierie de conception ou d'études	71
Méthodologie d'approche	72
Études de sites	74
Études de génie civil	77
Études d'installation	79
Études de systèmes	85
Spécifications techniques (de travaux, de fournitures et de services)	93
Études transverses multifonctionnelles	96
Autres études transverses	103
Études justificatives	105
Point clé des études de réalisation détaillées : la maîtrise des imbrications entre études et achats	106
Chapitre 4 • L'ingénierie d'achat	111
Schéma contractuel d'ensemble, lotissement des marchés et contrats	112
Les achats, activité stratégique	127
Ingénierie d'achat « d'avant contrat » : PASSATION des marchés et contrats	132
Ingénierie d'achat « d'après contrat » : MANAGEMENT des marchés et contrats	141
Outils intégrés de gestion des achats	147
Chapitre 5 • L'ingénierie de réalisation sur site	149
Tâches techniques en phase de construction et montages	150
Conditions nécessaires à une réalisation sur site	158
Essais de démarrage et mise en service d'une installation nucléaire	160
Imbrication et coordination des tâches : deux points clés des réalisations complexes	169

Contrôle de la qualité des réalisations sur site	172
Fonctions non techniques de l'ingénierie de réalisation	173
Chapitre 6 • Autres aspects : économiques, financiers contractuels, juridiques, logistiques et politiques	175
Aspects économiques	176
Modes de financement : ingénierie financière	177
Aspects contractuels : ingénierie contractuelle	182
Droit nucléaire international : ingénierie juridique des États	194
Logistique et transports non nucléaires	203
Aspects politiques et poids des opinions publiques	211
Chapitre 7 • Le management de projet	213
Les grandes phases d'un projet	214
Les grandes fonctions du management de projet	215
Pilotage d'un grand projet nucléaire : un processus régulé en temps réel sous très fortes contraintes...	234
Exigences spécifiques au management des grands projets nucléaires	236
Chapitre 8 • Pour aller plus loin...	239
Éléments de structuration organisationnelle, documentaire et qualité de la démarche ingénierie nucléaire	240
L'ingénierie nucléaire ne se limite pas à la construction de nouvelles installations industrielles...	244
Sources de la performance d'une ingénierie nucléaire	253
Références	265
Sciences et techniques de base	265
Documents réglementaires et assimilés importants	266
Codes de conception et de construction (RCC)	266
Documents de référence de l'AIEA	267
Autres sources d'information	267
Glossaire	269

This page intentionally left blank

Préambule

Ce qu'EST cet ouvrage. Ce qu'il N'EST PAS

➤ Commençons par ce qu'il n'est pas :

Il va d'abord sans dire que ce n'est pas un « *manuel* » d'ingénierie et/ou de *projet*, vastes corpus *exhaustifs* et très *détaillés* de documents *normatifs* (mais généralement assez peu explicatifs) *définissant* et *codifiant* l'ensemble des *tâches* et des *règles d'ingénierie* et de *management de projet*, que toute société pratiquant l'ingénierie est amenée à développer pour définir son activité et celle de ses sous-traitants.

Rappelons simplement que dans le secteur de l'ingénierie nucléaire, le volume de tels « *manuels* » peut atteindre celui d'encyclopédies...

Le parti a également été pris de ne pas *reproduire* ici, surtout quand *aucune valeur ajoutée* n'est apportée, des données de base certes indispensables à connaître, mais qui sont déjà parfaitement documentées par ailleurs (cf. références bibliographiques en fin d'ouvrage) concernant notamment :

- *L'immense* domaine des *sciences* et *techniques spécifiquement* mises en œuvre dans l'ingénierie des *installations nucléaires* (physique nucléaire, neutronique, thermo-hydraulique, comportement et vieillissement des matériaux sous diverses contraintes (mécaniques, chimiques, irradiation), radiochimie, radioprotection, impact radio-écologique sur l'environnement, etc.). Ou encore le non moins vaste

domaine des *sciences et techniques générales* de l'ingénieur, mises en œuvre dans l'*ingénierie* de toute *grande installation industrielle* (Ggénie civil, hydraulique, thermique, mécanique, électromécanique, électricité, contrôle commande, etc.).

- Les *principes de fonctionnement* des différents *types d'installations nucléaires*. Inutile en effet de les *reproduire*, éventuellement mal, alors qu'on les trouve, le plus souvent illustrés par des schémas de grande qualité, sur les *Sites Internet* des grands acteurs français du nucléaire (CEA, AREVA et EDF, pour ne citer que les plus importants, cf. également les références bibliographiques).

Les seuls aspects *techniques* évoqués dans ces pages se limitent donc à quelques *principes généraux* indispensables à une *bonne compréhension* des *approches méthodologiques* mises en œuvre en matière de *sûreté-sécurité nucléaire, radioprotection*, etc. ainsi que des *processus* de l'*ingénierie nucléaire*.

➤ Comment alors définir cet ouvrage ?

L'ingénierie, ou « *art de l'ingénieur* » (cf. également ci-après définitions plus complètes dans l'introduction) présente deux caractéristiques majeures :

La première, pour employer le langage des pédagogues, est qu'elle constitue bien davantage une *compétence*, ou *savoir-faire*, qu'une *connaissance*, ou *savoir*. Même si, à l'évidence, elle ne peut *exister* sans des *savoirs* approfondis et nombreux.

Mais posséder des *savoirs* est une chose, être capable de les *mettre en œuvre, combiner* et *orchestrer* pour *réaliser* une installation d'une grande complexité en est une autre. Qui constitue précisément la *valeur ajoutée* de l'ingénierie.

La seconde, surtout quand elle concerne un domaine aussi vaste que celui du *nucléaire*, est qu'elle ne peut s'exercer que *collectivement*, aucun esprit humain n'ayant la capacité de *maîtriser* de manière *approfondie* la *totalité* des *savoirs* et *savoir-faire* nécessaires.

Ces deux caractéristiques font que le *savoir-faire* de l'ingénierie se transmet *principalement* par la *pratique* et l'*expérience de terrain* (encore dénommé « *compagnonnage* » ou « *on the job training* » par les Anglo-saxons), dans le cadre *normatif, défini, codifié* et *contrôlé* d'un *système qualité*.

Rien n'interdit cependant *d'introduire* le domaine, en *décrivant* et *expliquant* ses grands *objectifs*, son contexte *réglementaire*, la logique de ses *processus*, leurs *enchaînements*, les différentes *tâches* à réaliser, les *métiers* exercés, etc.

Ni de proposer une *analyse* de la *complexité* des *processus organisationnels* mis en œuvre, qui impliquent de *mobiliser, fédérer* et *orchestrer* des *compétences humaines* très vastes. Et relèvent du *management des organisations complexes*.

Ce sont là les deux *objets* de cet ouvrage, qui présente de ce fait *deux faces imbriquées* :

- Une *face « objective »* car essentiellement *descriptive* et *factuelle*, quand il s'agit de *décrire* et *présenter* un *contexte réglementaire*, des *processus*, des *organisations*, etc. C'est l'essentiel de l'ouvrage *en volume*,
- Une *face nécessairement « subjective »*, quand il s'agit de *commenter* et *d'analyser* les *processus* et leurs *difficultés* fréquentes, de *suggérer* des solutions possibles pour

y faire face et, plus largement, de *réfléchir* aux *conditions* de la *performance* d'une ingénierie.

Cette *part subjective* ne peut en effet *s'abstraire* de l'*expérience personnelle* de l'auteur, par nature *particulière, limitée et contingente*.

Enfin, dernière façon de définir *ce qu'est* cet ouvrage : celui... que l'auteur de ces lignes aurait aimé avoir entre les mains quand il a commencé à travailler dans le domaine ! Il y aurait gagné beaucoup de temps dans la *compréhension globale* des *processus* mis en œuvre ! Ce qui introduit le paragraphe qui suit...

À QUI cet ouvrage s'adresse-t-il ?

Plusieurs *cibles* peuvent être identifiées :

La principale est celle des étudiants des Grandes Écoles d'Ingénieurs, Instituts ou Universités Scientifiques qui veulent *comprendre de manière concrète* comment l'ingénierie nucléaire *met en œuvre* les *différentes connaissances* qu'ils ont pu acquérir et quels sont les *différents métiers* qui en résultent.

Il s'agit aussi bien d'étudiants engagés dans des *cursums de formations nucléaires spécialisées* que d'étudiants « *généralistes* » se destinant à ces métiers, mais dans des fonctions (les plus nombreuses, de l'ordre de 70 % du total en *nombre*) *non spécifiquement nucléaires* (cf. introduction ci-après).

Une autre cible est constituée par de jeunes ingénieurs « *généralistes* » et autres *diplômés scientifiques* récemment *entrés* dans l'industrie nucléaire à des postes variés, qui par définition n'ont pas *d'expérience concrète* en ingénierie et veulent accéder à une *compréhension plus globale* de l'*environnement organisationnel* dans lequel ils travaillent.

Dernière *cible* potentielle : celle des ingénieurs expérimentés venant *d'autres* secteurs industriels et qui souhaitent *réorienter* leur carrière dans ce domaine.

De ce point de vue, l'ouvrage aura atteint son but s'il donne au lecteur l'envie d'en *savoir plus* en... allant *exercer* l'un des nombreux et passionnants métiers qu'offre l'ingénierie nucléaire !

Les pré-requis pour aborder cet ouvrage dans de bonnes conditions sont relativement peu exigeants : disposer d'une *culture générale scientifique* suffisante, incluant bien sûr quelques notions de base en *physique nucléaire* (celle d'une licence scientifique – niveau L – pour fixer les idées).

Reste une dernière catégorie de lecteurs potentiels, *n'appartenant pas* aux *cibles* ci-dessus : les *praticiens expérimentés* du domaine, connaissant donc parfaitement le sujet abordé... C'est la *part subjective*, donc « *discutable* » de l'ouvrage qui peut les intéresser. Pour y *confronter* leur propre *expérience*, tout aussi... *subjective* mais nécessairement *différente*. La *confrontation* étant source de réflexion...

Sachant que cette dernière peut *aussi* concerner le *management des très grands projets industriels non nucléaires*, qui présentent beaucoup de points communs (en un peu plus simple cependant...) avec leurs *homologues nucléaires*.

This page intentionally left blank

Introduction

Avant d'entrer dans le vif des différents sujets constituant *l'ingénierie des installations nucléaires*, il n'est sans doute pas inutile d'en préciser les éléments de *vocabulaire*, ainsi que de *resituer* cette ingénierie par rapport à *d'autres types d'ingénieries*, en répondant notamment à des questions telles que :

- Qu'est-ce que *l'ingénierie* ?
- L'ingénierie nucléaire est-elle *spécifique* ?
- Si oui, quelles sont les *parts respectives* entre ingénieries *spécifique* et *non spécifique* sur une installation nucléaire ?
- Quelles en sont les conséquences en termes de *compétences* requises et de *formations* associées ?
- Enfin, quelles sont les *grandes fonctions* de *l'ingénierie nucléaire* ? Sachant que la réponse à cette question va *structurer* le *plan général* de cet ouvrage.

Qu'est-ce que l'ingénierie ?

Plusieurs définitions de l'ingénierie existent. Nous en citerons trois :

« *Activité spécifique de définition, de conception et d'étude d'ouvrages ou d'opérations, de coordination, d'assistance et de contrôle pour la réalisation et la gestion de ceux-ci* »,

« Ensemble des prestations consistant à étudier et faire réaliser un ouvrage ou système d'ouvrages qui requièrent un ensemble de compétences de natures diverses : scientifiques, techniques, environnementales, de gestion, financières, juridiques, etc. et bien sûr managériales »,

« Ensemble des aspects technologiques, économiques, financiers et humains relatifs à l'étude et à la réalisation d'un projet, qu'il soit industriel, scientifique ou de société ».

Il faut bien reconnaître qu'en dépit de leur grande clarté pour des praticiens de l'ingénierie, ces définitions ne sont pas forcément très parlantes, ni très concrètes, pour tous ceux qui ne l'ont jamais pratiquée...

C'est que la « *substantifique moelle* » de l'ingénierie n'est pas très facile à cerner : activité purement *intellectuelle*, qui ne produit « *que du papier* » (fut-il sous forme électronique) sa valeur ajoutée n'est pas toujours bien comprise des entités qui lui sont extérieures. Et qui la réduisent parfois par ignorance à... un *coût*, dont la justification ne serait pas toujours évidente !

C'est aussi que cette activité est victime... d'elle-même : *mieux* elle est pratiquée, c'est-à-dire plus elle est *performante*, moins cela se « *voit* » ! En effet, quand tout va « *comme une lettre à la poste* », l'art semble facile... Mais que des difficultés surviennent, alors l'ingénierie est la première à être mise en accusation !

Bref, l'ingénierie est une activité à *l'image* souvent floue et parfois même négative, y compris dans l'esprit de certains dirigeants... Mais combien passionnante pour ceux qui la pratiquent ! Pour deux raisons essentielles :

- C'est d'abord une activité *créatrice* : c'est en effet elle qui *rend possible* la réalisation de projets *complexes* dans des conditions environnementales, réglementaires, scientifiques, techniques, économiques, humaines, politiques, etc. *bénéfiques* pour la société, en réalisant *l'indispensable synthèse* de toutes les *contraintes*,
- C'est ensuite une activité *doublément* « *collaborative* », donc riche de relations humaines variées :
 - En *interne*, personne n'ayant la capacité de maîtriser en étendue et profondeur *tous* les aspects d'un projet complexe,
 - À *l'externe*, tout projet complexe s'appuyant sur de très nombreuses *compétences extérieures*, qu'il faut *aller chercher, évaluer, « acheter », puis coordonner, gérer*, etc.

En un mot, l'ingénierie (ou étymologiquement « *art de l'ingénieur* »), est fondamentalement une activité *d'organisation* et de *gestion* de la *complexité* s'appuyant sur la *coordination* de *multiples compétences humaines*. Dont le but ultime est de... *créer* !

Par *extension*, le terme désigne la gestion de *situations complexes* dans différents domaines. C'est ainsi que l'on parle « *d'ingénierie financière* », « *d'ingénierie juridique* », « *d'ingénierie de la formation* », « *d'ingénierie publique* », etc.

Nous l'utiliserons ici essentiellement dans son acception « *ingénierie industrielle* » appliquée aux grands ensembles industriels, dont les *installations nucléaires* constituent

probablement *l'archétype* en termes de *complexité globale* (technologique, environnementale, réglementaire, financière, politique, humaine, etc.).

On peut dans ce contexte proposer une nouvelle définition de l'ingénierie :

« Ensemble des activités permettant de passer des théories et des schémas de principe à la complexité d'une installation réelle respectant des exigences nombreuses et variées en termes de sécurité nucléaire, impact sur l'environnement, exploitabilité, maintenabilité, disponibilité, rentabilité économique, durée de vie, acceptation par le public... dont le résultat constitue un ensemble économiquement et socialement utile ».

Ce passage des *théories* et *schémas de principe* aux *réalisations concrètes* relève typiquement de « *l'art de l'ingénieur* », qui consiste précisément à *utiliser* et *mettre en œuvre* des connaissances *scientifiques*, *techniques* et *technologiques*, en les *intégrant* dans un *ensemble plus vaste* de *contraintes* réglementaires, économiques, sociales et humaines.

Sachant que la réalisation d'une installation industrielle complexe peut aussi s'assimiler à l'assemblage d'un « Grand Meccano », on peut distinguer *trois niveaux complémentaires* de mise en œuvre de l'ingénierie :

- L'« *ingénierie d'enssembler* » ou « *architecture industrielle* », mise en œuvre par un « *Maître d'Œuvre* » ou encore un « *Architecte Industriel* ».

Comme son nom le suggère, elle a pour objet de concevoir et coordonner de manière *globale* la réalisation du « Grand Meccano », en s'appuyant *en tant que de besoin* sur les *compétences extérieures nécessaires*, qui elles-mêmes mettent en œuvre les deux autres types d'ingénierie, à savoir :

- L'« *ingénierie de détail* » ou « *ingénierie d'exécution* », mise en œuvre par des *sous-ensembliers* ou des *bureaux d'études spécialisés*, conformément aux spécifications du *Maître d'Œuvre*.

Cette ingénierie constitue *l'interface* entre la *conception d'ensemble* et la *réalisation* sur site. C'est elle qui produit les documents dits *d'« exécution »*, *directement utilisables* sur le site pour réaliser l'installation.

Elle concerne plus particulièrement (non exhaustif) les sous-ensembles « *passifs* » du « Grand Meccano » : *contenant* (bâtiments) et réseaux de connexion *reliant entre eux* les équipements et composants « *actifs* » de ce dernier.

- L'« *ingénierie incorporée* » au sein des équipements et composants dits « *actifs* » du « Grand Meccano » (nécessitant leur *propre ingénierie interne*, comme par exemple les pompes, les capteurs, etc.).

Cette ingénierie est mise en œuvre par les très nombreux « *fournisseurs* » (au sens large : équipementiers, sous-ensembliers, etc.) conformément aux *spécifications générales* du *Maître d'Œuvre*.

Elle recouvre des compétences nombreuses et variées, allant des plus sophistiquées à de plus communes selon la nature, la fonction, les classements (sûreté, qualité, etc.) des équipements et composants concernés.

À noter que la notion d'« *ingénierie incorporée* » (aux produits) oriente vers des *fournisseurs* ayant des *compétences avérées en conception*, ce qui exclut les simples

« *façonniers* », dont les compétences se limitent à *réaliser* selon une conception faite par *d'autres* (comme cela se faisait naguère dans des pays comme la Chine ou l'URSS, mais qui a disparu depuis longtemps dans les pays industriels occidentaux).

En réalité, les *frontières* entre les trois types d'ingénierie décrits ci-dessus sont *mouvantes* et dépendent de plusieurs facteurs, notamment :

- De *l'existence d'un Maître d'Œuvre* (ou *Architecte Industriel*) *indépendant* des grands fournisseurs d'équipements. Un exemple permet d'illustrer ce point :
 - Lorsque EDF construit une centrale nucléaire en France en qualité de *Maître d'Ouvrage*, il en assure lui-même *l'architecture industrielle* et s'adresse (entre autres fournisseurs) à AREVA NP qui conçoit, fournit, monte et met en service le *sous-ensemble fonctionnel majeur* que constitue la *chaudière nucléaire*,
 - Lorsqu'AREVA NP fournit un *îlot nucléaire* à un client étranger, il assure en outre généralement *l'architecture industrielle* complète de cet îlot.

On voit donc que les *frontières s'adaptent* au *schéma contractuel* imposé par le client (ce sujet sera approfondi dans le chapitre 4).

- Du *degré de sous-traitance* choisi par le *Maître d'Œuvre*. Ce qui conditionne le *volume* de l'ingénierie de *détail* confiée à des *bureaux d'études spécialisés* et/ou à des *sous-ensembliers*.

Sachant que la sous-traitance relève soit de la *nécessité*, si la prestation à réaliser *n'est pas* dans les compétences *propres* du *Maître d'Œuvre*, soit de *l'opportunité* (optimisation technico-économique) le sous-traitant étant souvent plus *productif* et *moins cher*, car il s'est *spécialisé* dans son domaine de compétences, beaucoup plus étroit que celui du *Maître d'Œuvre*.

L'ingénierie nucléaire est-elle spécifique ?

L'ingénierie de *toute installation industrielle* peut être subdivisée en deux grandes « *parts* » :

- La *part dite spécifique, étroitement liée* au *processus* (physique, chimique, etc.) *mis en œuvre* dans l'installation,
- La *part dite non spécifique*, que l'on retrouve sous des formes *très similaires* dans *n'importe quelle* installation industrielle importante (centrales de production d'électricité, raffineries de pétrole, installations de gaz naturel liquéfié, complexes chimiques, etc.). Cette *part non spécifique* recouvre des :
 - *Technologies* largement communes ou similaires (distributions de fluides, distributions électriques, contrôle commande, etc.),
 - *Méthodologies d'ingénierie, pratiques organisationnelles*, etc. également très similaires (méthodes d'ingénierie, management des grands projets, etc.).

Ce point est essentiel car il « *rapproche* » une part importante des *métiers d'ingénierie*, quel que soit le domaine industriel considéré.

L'ingénierie des installations nucléaires *s'inscrit* tout à fait dans cette logique en y ajoutant *quelques spécificités fortes* qui seront précisées plus loin. On peut donc là encore *distinguer* :

- L'ingénierie *spécifique*, qui concerne directement les aspects *nucléaires* et la *maîtrise* de leurs conséquences, recouvrant en particulier (non exhaustif) :
 - L'ingénierie des *processus nucléaires* mis en œuvre,
 - La maîtrise de la *sûreté nucléaire*,
 - La *radioprotection* (qui concerne à la fois la protection du personnel et celle des populations environnantes).

En fait, il faut plutôt parler *d'ingénieries spécifiques* en fonction du *processus nucléaire* concerné dans la mesure où :

- Des différences notables existent déjà entre *différentes catégories* de *réacteurs* : ainsi, les réacteurs électrogènes de puissance mettent en jeu des *puissances* neutroniques et donc thermiques considérables, alors que les réacteurs de recherche et/ou d'irradiation, de puissance comparativement beaucoup plus faible, mettent en jeu des *flux neutroniques* beaucoup plus élevés, qui impliquent *d'autres* types de difficultés,
- Les *processus nucléaires* mis en jeu sont encore bien plus différents dans les installations *autres* que les *réacteurs*, celles notamment des phases *amont* et *aval* du cycle du combustible : usines d'enrichissement, de fabrication des éléments combustibles, de retraitement des combustibles usés, etc. où règnent en maîtres la *chimie*, la *télémanipulation* pour traiter des matériaux présentant des taux de radioactivité extrêmement élevés, etc.

Toutes ces formes *d'ingénieries spécifiques* ont cependant en *commun* d'être soumises à la *même* réglementation, celle des *installations nucléaires de base* (INB, cf. chapitre 1) et d'obéir notamment à des *principes* de *sécurité nucléaire* (terme englobant la *sûreté* nucléaire, la *radioprotection* et la *protection contre la malveillance*, cf. également plus loin) *identiques* (bien sûr *déclinés concrètement* de manière adaptée à chaque type d'installation).

On notera cependant que si la *radioprotection* reste *spécifique* du domaine nucléaire, les *démarches* de *sûreté*, nées avec ce dernier, et dans une moindre mesure, de *protection contre la malveillance*, ont été largement *étendues*, en tant *qu'approches méthodologiques*, aux installations industrielles présentant des risques potentiels importants pour *l'environnement* ou la *santé humaine* (usines chimiques, certains centres de stockage, etc. classés « SEVESO » pour l'environnement).

- L'ingénierie *faiblement spécifique* ou *non spécifique* concerne donc *tout le reste* : bien sûr la partie dite « *classique* » (non nucléaire) de l'installation, mais aussi une part importante (*en volume*) de la partie dite nucléaire, pour laquelle les *processus* mis en œuvre et/ou les *exigences de sûreté / radioprotection* ont des impacts *limités*, et n'impliquent *pas* une *expertise nucléaire poussée*.

Quelles parts respectives entre ingénieries spécifique et non spécifique ?

Nous prendrons l'exemple d'une centrale nucléaire de type REP (réacteur à eau pressurisée, en anglais PWR : Pressurized Water Reactor), dans laquelle on peut distinguer :

- Une partie à *très forte spécificité nucléaire*, recouvrant essentiellement l'ingénierie (non exhaustif) :
 - De la *chaudière nucléaire* (qui comprend notamment le cœur nucléaire) et des systèmes électromécaniques et de contrôle commande qui lui sont directement associés,
 - Des systèmes de *manutention / stockage* du combustible nucléaire,
 - Des systèmes de *traitements des effluents radioactifs*.

Les concepteurs de ces parties de l'installation pratiquent à l'évidence une ingénierie *hautement spécifique*, requérant des *compétences approfondies* dans les *sciences et techniques nucléaires* (physique nucléaire, neutronique, thermo-hydraulique, tenue des matériaux sous irradiation, radioprotection, études de sûreté, etc.).

- Une ingénierie à spécificité nucléaire allant de « moyenne » à « nulle » pour tout le reste. Il ne faut en effet pas oublier qu'une installation nucléaire est *majoritairement* constituée (en volume et/ou en masse) de... béton, réseaux de tuyauteries, pompes, échangeurs de chaleur, réservoirs, vannes motorisées, systèmes de ventilation, distributions électriques, etc. dont les conceptions et technologies sont *directement dérivées* de celles des grandes installations industrielles non nucléaires.

Les activités d'ingénierie associées (études de conception et détaillées, achats, construction, etc.) sont de ce fait également *peu spécifiques*.

Ceci est encore plus vrai si l'on s'intéresse aux aspects *organisationnels* et *méthodologiques* des *processus d'ingénierie*, et bien sûr au *management global du projet*, aux *méthodes* de *contrôle* et de *gestion*, etc.

De fait, les différences essentielles par rapport à l'ingénierie classique de grandes installations *non* nucléaires viennent d'*exigences complémentaires* et/ou *supérieures* de *qualité* (à la fois en termes de *contrôles qualité* et d'*assurance de la qualité*).

En d'autres termes, les *aspects nucléaires* interviennent alors comme des *éléments de contexte*, impliquant des *exigences plus élevées* dans l'exercice des différents métiers d'ingénierie concernés, mais ne remettant *pas* en cause les *fondamentaux* de ces derniers.

Un exemple permet d'illustrer cet aspect des choses : celui de la conception des enceintes de confinement des réacteurs, ouvrages de génie civil en béton précontraint de haute technologie, mais qui ont peu à voir avec la physique nucléaire, tout au moins... directement !

L'aspect « *nucléaire* » de l'ouvrage se traduit dans ce cas par la prise en compte de *cas de charges* supplémentaires, par des *contraintes* de *qualité* beaucoup plus élevées, etc. C'est-à-dire par un *métier* exercé de manière plus *complexe* et plus *exigeante*. Mais, point majeur, la *compétence de base* reste fondamentalement la même : celle de *concepteur* de structures de génie civil.

La conclusion est évidemment la même pour ce qui concerne de nombreux autres métiers de l'ingénierie mis en œuvre (mécanique, électricité, etc.).

Peut-on, dans ces conditions, *quantifier* les *parts respectives* d'ingénierie *spécifique* et d'ingénierie *peu ou non spécifique* ? Si l'on prend à nouveau l'exemple d'une centrale de type REP, et que l'on raisonne en *volume* d'heures d'ingénierie, et étant entendu qu'il ne s'agit là que *d'ordres de grandeur indicatifs*, on peut probablement considérer que :

- L'ingénierie *spécifique*, requérant des compétences nucléaires *approfondies*, « pèse » probablement pour moins d'un tiers de *l'activité* totale,
- Par conséquent, l'ingénierie *peu ou non spécifique* représente plus des deux tiers de l'activité totale et est donc largement majoritaire en *volume*.

Quelles conséquences sur les compétences et formations requises ?

Il résulte de ce qui précède que l'ingénierie des installations nucléaires requiert *deux grands types* de compétences complémentaires :

- Des compétences *nucléaires spécifiques* et très *spécialisées*, minoritaires en nombre, mais qui impliquent des formations *lourdes* dans les domaines considérés (du type « Génie Atomique » dispensé par l'INSTN ou autres formations similaires existantes et à venir, cf. également chapitre 1),
- Des compétences en *ingénierie générale* d'installations industrielles, que l'on peut qualifier de *généralistes*, majoritaires en nombre, qui requièrent une *gamme étendue* de formations d'ingénieurs et techniciens, en génie civil, en électromécanique, en électronique et informatique, etc.

Cependant, le *contexte* plus *exigeant* d'une *installation nucléaire* implique pour cette dernière catégorie la mise en œuvre de *formations / initiations / sensibilisations complémentaires* adaptées à chaque métier et centrées sur :

- Les notions de base en *sûreté / radioprotection / qualité*,
- La « *culture de sûreté* » (qui *implique* la « *culture de qualité* » mais va bien *au-delà*) et relève bien davantage d'une *prise de conscience*, d'un *état d'esprit* et de *règles de comportement fondés* sur la *rigueur intellectuelle*, le *doute scientifique* et la *transparence*, que de *connaissances pures* (cf. encadré ci-après).

La « culture de sûreté »

0) Définition (Source AIEA, INSAG 4)

« Ensemble des caractéristiques et des **attitudes** qui, dans les **organismes** et chez les **individus**, font que les questions relatives à la **sûreté** des **installations nucléaires** bénéficient, **en priorité**, de **l'attention** qu'elles méritent en raison de leur **importance** ».

Cet énoncé fait ressortir que la « culture de sûreté » concerne à la fois l'organisation des structures et l'attitude (personnelle et collective) des individus.

Visite décennale

Ensemble des opérations, réglementaires ou non, de vérification, de maintenance et d'adaptation d'une installation nucléaire, réalisées tous les dix ans afin d'en poursuivre l'exploitation.

Voie de sûreté (ou encore train de sûreté)

Ensemble de systèmes, accomplissant différentes fonctions de sûreté et astreints à des exigences de séparation physique et électrique par rapport aux systèmes appartenant à des voies de sûreté différentes.

Zone contrôlée

Zone où l'accès et le séjour sont soumis à une réglementation spéciale pour des raisons de protection contre les rayonnements ionisants et de confinement de la contamination radioactive.

This page intentionally left blank