

Intercomparaison des pratiques de surveillance de fabrication

Étude croisée entre le nucléaire civil, l'aviation civile, l'aéronautique militaire et la propulsion navale nucléaire



GOVERNEMENT

*Liberté
Égalité
Fraternité*

SURFEO
CATCH THE BUSINESS WAVE

L'ESSENTIEL EN 90 SECONDES

SYNTHÈSE EXÉCUTIVE

LE CONTEXTE

Pourquoi cette étude ?

La relance du nucléaire civil, par la construction de réacteurs EPR2 et de nouvelles installations de l'aval du cycle du combustible, impose de tirer pleinement les leçons des programmes antérieurs. Le chantier de l'EPR Flamanville 3 a révélé des problèmes de qualité et des fragilités sur la chaîne de surveillance. La filière remonte régulièrement des temps de production optimisables en termes de surveillance de la fabrication des matériels.

Pour éclairer la transformation à conduire, la DINN a mandaté SURFEO pour comparer les pratiques de surveillance dans quatre filières industrielles à très haute exigence de fiabilité.

CE QUE MONTRE L'ÉTUDE

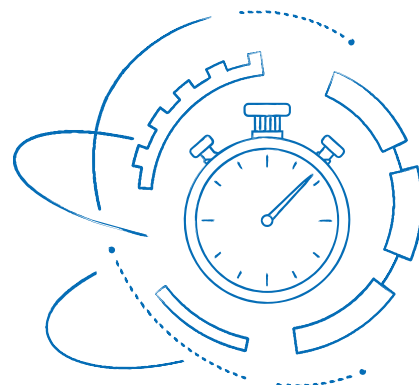
Les résultats clés

- Le nucléaire civil est moins clairement structuré et homogène que les trois autres filières étudiées (relations entre acteurs - standards - homologation - agréments).
- Le rôle de concepteur y apparaît moins central que dans les autres filières ; Seul, l'exploitant centralise la charge de justification auprès des autorités, à l'exception du champ des ESPN.
- Le référentiel réglementaire et technique est davantage sujet à interprétation.
- La philosophie et les pratiques de surveillance et leur organisation (AIP, EIP, EIS/AIS, DOA, POA, CS, CT...) varient fortement d'une filière à l'autre.

MESSAGES CLÉS

À RETENIR

- Une structuration de la surveillance de fabrication de la filière nucléaire civil moins lisible.
- La gouvernance et les rôles au sein de la filière nucléaire civil (Exploitant, Concepteur, Fabricant) sont moins bien définis.
- L'exploitant nucléaire porte seul la charge de la responsabilité de fabrication et de montage, parfois hors de son savoir-faire industriel.
- Une délégation des responsabilités très différente (habilitation d'organisme en fonction des capacités industrielles dans les autres filières).
- Une faible standardisation technique de la filière nucléaire civile.
- Un même niveau d'exigence, des modes de contrôle très différents.



CHAPITRE 1

LES ENJEUX

*Pourquoi la surveillance de fabrication est stratégique pour les industries analysées ?
Trois niveaux d'enjeux structurent la réponse – qui se renforcent mutuellement.*

1 — UNE CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT VOUÉE À ÊTRE TRÈS SOLlicitÉE

- **Nucléaire** : indépendance énergétique et sûreté nucléaire, dans un contexte de forte remontée du plan de charge (6 EPR2 + 8 en option – projet Aval du Futur – Chantier Cigéo...) sollicitant un faible nombre d'acteurs pour des montants très élevés.
- **Aéronautique** : compétitivité économique et sécurité aérienne dans un environnement mondialisé et en forte progression du besoin de transport.
- **Aéronautique de combat** : autonomie stratégique et fiabilité, gage de crédibilité dont le volet dissuasion conventionnelle et nucléaire, dans un contexte de succès à l'exportation et d'augmentation forte de cadence.
- **Bâtiments à Propulsion Nucléaire (BPN)** : autonomie stratégique et fiabilité, gage de crédibilité dont le volet dissuasion conventionnelle et nucléaire, dans un contexte de renouveau de la flotte (PA – SNA – SNLE) et de réarmement mondial.

2 — LA QUALITÉ, UNE EXIGENCE CENTRALE POUR LA SÛRETÉ

- **Des systèmes critiques** exploités en environnement sévère et à très forte exigence de qualité.
- **Des conséquences potentielles** majeures en cas de défaillance.
- **Une culture d'exigence** propre à chacune des quatre filières étudiées.

3 — LA SURVEILLANCE, UN LEVIER CLÉ DE PERFORMANCE

- **Garantir** la conformité des produits et procédés.
- **Prévenir** les défaillances avant qu'elles n'aient de conséquence.
- **Assurer** la traçabilité indispensable au retour d'expérience.

CARTOGRAPHIER LES ENJEUX

Trois piliers structurent les enjeux de la surveillance industrielle.
Aucun ne peut être négligé sans fragiliser l'ensemble du système.

SURETÉ

Systèmes critiques
zéro défaut

PERFORMANCE

Compétitivité et efficacité
industrielle

CONFIANCE

Acceptabilité sociale
et institutionnelle

CYCLE DE VIE & SURVEILLANCE - LES JALONS CRITIQUES

Conception



- Analyses de sûreté
- Études de conception
- Qualification des procédés

Fabrication

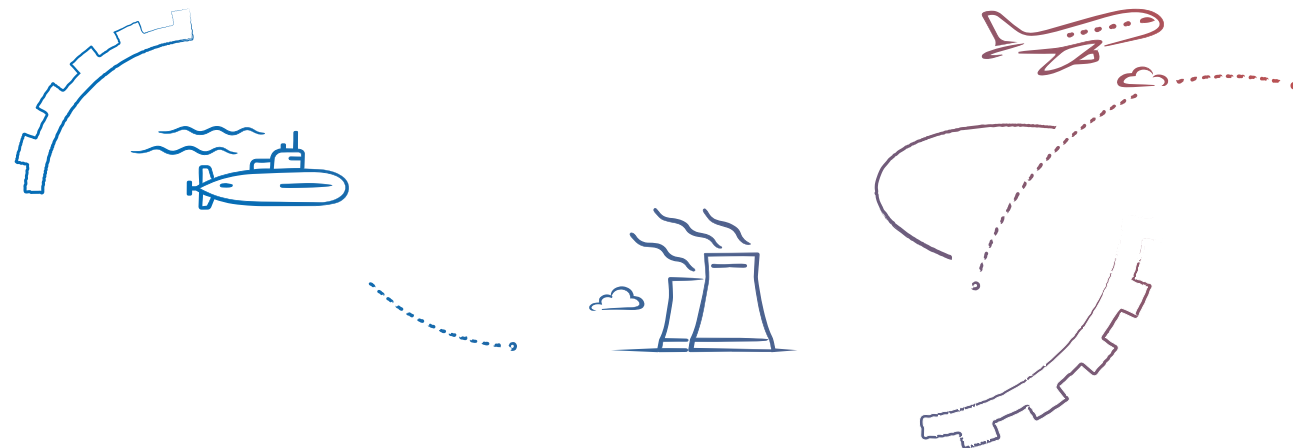


- Respect des spécifications
- Surveillance des gestes critiques
- Contrôles non destructifs

Exploitation



- Mise en service
- Maintenance
- Retour d'expérience



CHAPITRE 2

LA DÉMARCHE D'INTERCOMPARAISON

L'étude a adopté une méthode comparative rigoureuse, conçue pour rendre des filières très différentes effectivement comparables, sans gommer leurs nombreuses spécificités.

ANATOMIE DU TRAVAIL DE TERRAIN

Issus de 68 entretiens menés dans 4 filières industrielles de haute fiabilité

68

Entretiens
inter-filières

342

Constats

155

Partagés /
objectivés

78

Contradictaires

109

Idées /
recommandation

Famille de constats :

- Référentiels
- Gouvernance
- Maturité
- Exigence de sûreté
- Accompagnement global
- Surveillance de la filière
- Retour d'exploitation global
- Equilibre mission / sûreté

1 — UNE APPROCHE « MIROIR »

L'intercomparaison repose sur une logique simple : comparer des filières très différentes sur des bases communes. Il ne s'agit pas d'uniformiser, mais de faire émerger ce qui se ressemble et ce qui diverge — pour mieux comprendre les marges de progression.

- **Identifier les convergences** (socle d'exigences partagé)
- **Révéler les écarts** (pratiques différenciantes)
- **Capitaliser sur les expériences éprouvées dans chaque filière**

2 — LES FILIÈRES ÉTUDIÉES

Le périmètre couvre quatre filières aux modèles industriels très contrastés, mais partageant un même socle d'exigence critique. L'échantillon repose sur neuf sociétés issues de la segmentation de la chaîne d'approvisionnement du GIFEN, qui appartiennent aussi aux chaînes d'approvisionnement des autres filières :

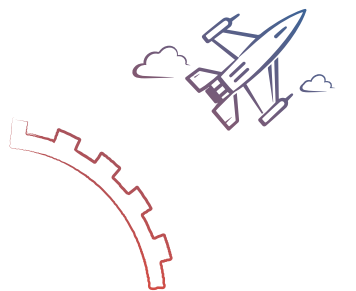
- **Aéronautique civile** — construction d'aéronefs, hélicoptères et moteurs (Airbus, Safran)
- **Aéronautique de combat** — avions de combat et systèmes associés (Dassault)
- **Nucléaire civil** — construction de réacteurs et cycle aval (EDF, Orano)
- **Défense BPN** — sous-marins et porte-avions à propulsion nucléaire (Naval Group, TechnicAtome, CEA, DGA)

L'étude porte sur le cycle de vie de la conception à la fabrication et au montage. L'exploitation et la maintenance sont hors périmètre, même si le retour d'expérience est analysé. Sont également exclus l'international, les équipements ESPN de niveau 1 et les armes atomiques.

3 — UNE MÉTHODOLOGIE MULTI-SOURCES

La méthode applique un principe de « carottage » sur une typologie de pièces critiques : l'analyse identifie les exigences du donneur d'ordre, puis descend la chaîne jusqu'au sous-traitant. Elle combine trois sources :

- Analyse documentaire des réglementations et catégorisation suivant une grille d'analyse commune
- Soixante-huit entretiens menés auprès de donneurs d'ordre, industriels de rang 1 à 3, organismes et experts
- Construction d'une matrice d'intercomparaison (similitudes, différences, bonnes pratiques)



« L'enjeu n'était pas d'établir qui faisait mieux, mais de comprendre pourquoi chacun fait différemment – et ce que l'on peut en apprendre. »

– Un membre du comité de pilotage de l'étude

LA LOGIQUE MIROIR : 4 FILIÈRES × 4 DIMENSIONS

Quatre filières comparées sur quatre dimensions : économique, organisationnelle, réglementaire et de surveillance. Cette matrice donne une lecture synoptique des modèles en présence.

	AÉRONAUTIQUE CIVILE 	AÉRONAUTIQUE DÉFENSE 	NUCLÉAIRE CIVIL 	PROPULSION NUCLÉAIRE 
ÉCONOMIQUE	• Volume élevé • Nombre d'entreprises FR : 1000	• Faible/ moyen volume • Nombre d'entreprises RAFALE : 1200	• Faible volume • Nombre d'entreprises (GIFEN) : 2500	• Faible volume • Nombre d'entreprises (NGP) : 1000
ORGANISATION	• Concepteur fort (OEM clair) • MOA : marché capté par exploitants	• MOA Étatique forte (EMA + DGA) • Maître d'œuvre industriel • Architecte Intégrateur	• Exploitant centralisateur (rôle concepteur dilué (en dehors ESPN))	• MOA étatique forte EMA (porteur du besoin) + DGA/CEA (spécification vers MOE) • MOEE clairement identifiée (NGP + TA)
RÉGLEMENTAIRE	• EASA / OSAC • Référentiels techniques stables • Exigences et moyens de conformité bien définis	• DGA / DSAÉ • Gestion du risque opérationnel • Règle du grand père	• ASN/ASNR • textes interprétables	• ASND • équilibre bénéfices/ risques arbitré
SURVEILLANCE	• Surveillance process via audit OEM • Standards techniques univoques	• Audit OEM • Standards techniques univoques • Surveillance étatique • Contrôle programme	• Exigences et AIP propres à chaque exploitant • Surveillance par l'exploitant	• Surveillance intégrée • État client • Référentiel univoque et adapté

CHAPITRE 3

LES FONDAMENTAUX COMMUNS

Les quatre filières partagent un socle d'exigences et de critères qui semble communs et donc comparables. C'est en analysant finement ces éléments que l'on voit apparaître, au-delà des catégories qui semblent identiques, de profondes différences de sens, de gouvernance et de pratiques. Ainsi de manière croissante en termes de différences, l'on retrouve ces trois catégories :

1 — DES EXIGENCES PRODUITS EXTRÊMEMENT ÉLEVÉES

- Sûreté maximale et fiabilité exigée sur l'intégralité du cycle de vie (ordre de grandeur partagé : 10^{-6} /an pour les accidents graves des divers scénarios des études de sûreté / sécurité)
- Tolérance zéro défaut sur les composants critiques, mais des démonstrations de conformité différentes, en particulier approche déterministe en nucléaire civil versus probabiliste pour les autres.

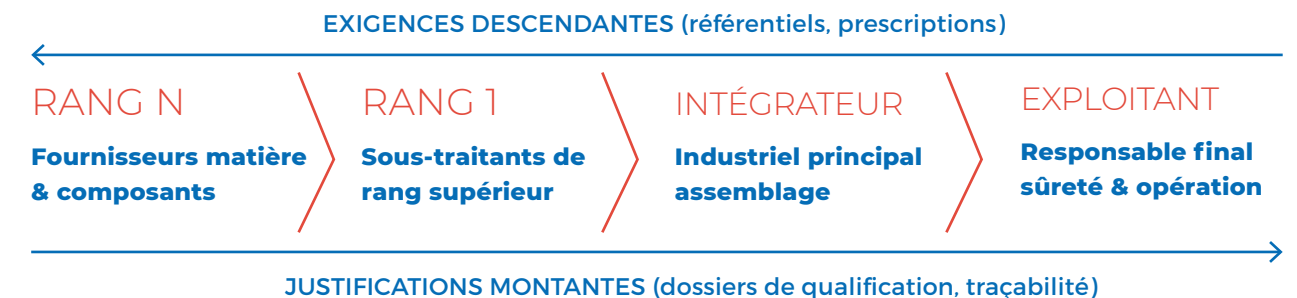
2 — DES CHAÎNES INDUSTRIELLES COMPLEXES

- Multi-acteurs et multi-niveaux de sous-traitance
- Quelques pièces de très haute technicité à produire
- Standardisation et gestion de la configuration, mais d'un périmètre et d'une granularité différentes
- Une tension significative et durable sur les compétences clés, notamment les métiers d'inspecteurs.

3 — UNE IMPORTANCE CENTRALE DE LA TRAÇABILITÉ

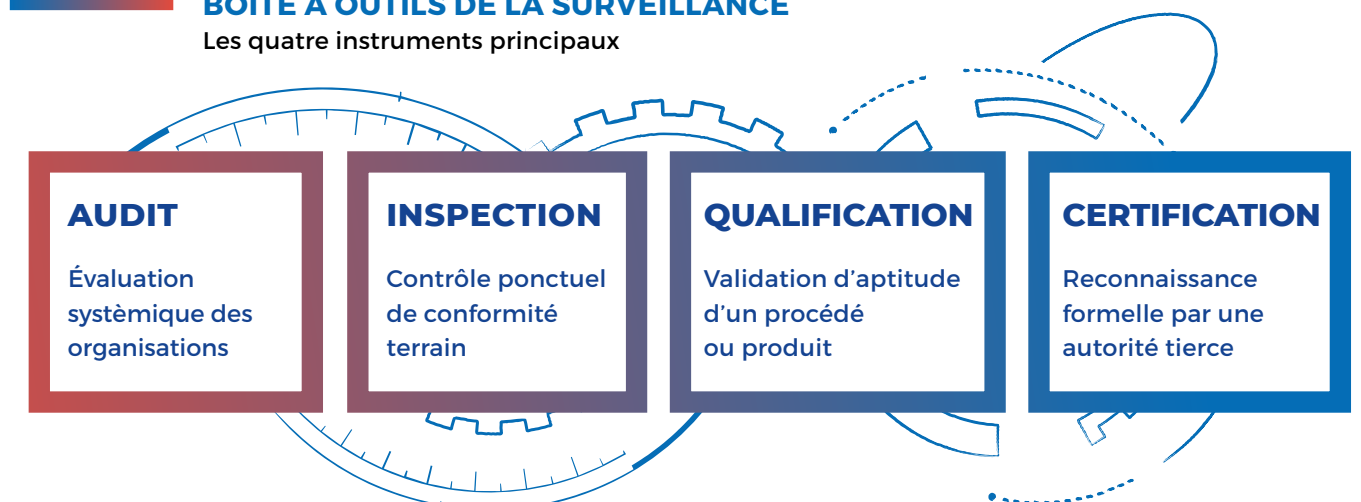
- Documentation exhaustive de tous les actes critiques
- Justification a priori et a posteriori des choix techniques
- Audits réguliers internes et externes, mais d'une fréquence et d'une philosophie différente.

CHAÎNE DE VALEUR INDUSTRIELLE – FLUX D'EXIGENCES ET DE JUSTIFICATIONS



BOÎTE À OUTILS DE LA SURVEILLANCE

Les quatre instruments principaux



CHAPITRE 4

LES DIFFÉRENCES STRUCTURANTES

Si le socle est commun, ce qui distingue chaque filière relève d'une combinaison de facteurs économiques, organisationnels et réglementaires. Ces différences sont les enseignements les plus précieux de l'étude.

1 — MODÈLES ÉCONOMIQUES

- **Nucléaire civil** : faible volume et haute criticité unitaire — cadence EPR2 d'environ 1 réacteur/an dès 2038
- **Aéronautique civile** : volume élevé (~600 A320/an) et industrialisation poussée dans un marché mondial en forte croissance post COVID.
- **Aéronautique de combat** : faible volume (~35 Rafale/an), logique programme, contrainte opérationnelle, mais succès à l'export et réarmement mondial.
- **Propulsion nucléaire** : très faible volume (0,14 à 0,5 unité/an), criticité maximale, unicité des objets, mais renouvellement permanent des flottes.

2 — CADRES RÉGLEMENTAIRES

- **Diversité des autorités** : ASNR (nucléaire civil), DGAC/DSAC et EASA (aéronautique civile), DSAé/DGA (aéronautique de combat), DGA/DSND (défense BPN)
- **Des référentiels techniques de natures différentes** :
 - Un code de règles de conception et de fabrication RCC-M, côté nucléaire, qui ne contient pas les Exigences Définies associées aux EIP et AIP, ED nécessaires à la démonstration de sûreté.
 - Un référentiel de certification CS25/CS29, côté aéronautique, qui contient les exigences techniques et les moyens (normaux ou alternatifs) acceptables de démonstration de conformité, dans le cadre d'un produit donné (Certificat de type d'un gros avion de transport aérien).
 - Un référentiel technique d'exigences RT3.3 et un recueil PN, isomorphe au RCC-M sur le strict périmètre des Chaufferies Nucléaires Embarquées, côté défense BPN.
- **Une stabilité variable** : le référentiel réglementaire du nucléaire civil est jugé non stabilisé et trop interprétable sans arbitrage clair, là où celui de l'aéronautique civile et militaire est reconnu comme stabilisé et géré plus finement en configuration et où celui des BPN adopte un modèle pragmatique car opérationnel, stable et homogène pour un type de Chaufferie nucléaire donnée (K15-K22).
- De manière assez singulière, la filière aéronautique

a structuré tout un écosystème autour de la notion de "navigabilité" qui regroupe l'ensemble des dispositions garantissant l'aptitude d'un avion à **voler en sécurité** vis-à-vis de ses occupants, des autres avions et des personnes au sol. Le système couvre tout le cycle de vie (conception – fabrication – assemblage – exploitation – maintenance), ainsi que les volets formation et compétence du personnel dans chaque phase du cycle de vie. Le périmètre d'application couvre les états membres de l'EASA et a été étendu aux avions d'État (MINARM, MINEFI, MININT), dont les **avions du ministère des Armées français** via un vaste chantier de transformation s'étendant sur de nombreuses années. Un des points clefs de cette transformation a été l'application de la "règle du grand-père" qui a permis de faire entrer en navigabilité des avions qui n'avaient pas été conçus dans cet esprit. Ce travail regroupant l'autorité de surveillance (DSAé), l'autorité technique (la DGA/AT), les exploitants (les Armées) et les industriels MOE (Dassault – AH...), a permis de clairement identifier le cœur des exigences de sécurité et les moyens d'en garantir la juste satisfaction. C'est essentiellement l'existence de cette expérience de **transposition réussie** qui a poussé les auteurs de l'étude à regarder avec attention ce que cette filière avait mis en place. Enfin, il faut noter que la notion de gestion du risque opérationnel a alors émergé comme spécificité dans le référentiel des avions d'État pour tenir compte de l'importance des missions confiées à ces avions.

3 — ORGANISATIONS INDUSTRIELLES

- Le rôle de concepteur est clairement distinct du fabricant et de l'exploitant en défense BPN et en aéronautique, mais dilué dans le nucléaire civil où il n'apparaît pas explicitement, hormis le cas particulier des ESPN qui identifie un acteur dénommé "fabricant" qui en creusant se révèle être le concepteur de l'objet ESPN.
- L'aéronautique repose sur un système d'habilitation des organismes de conception ou de production industrielle (DOA/POA) pour un périmètre d'objet bien défini et à configuration stable.

- La filière défense BPN reconnaît sous le vocable "d'exploitant nucléaire", commun à la filière nucléaire civile, deux entités qui sont d'une part autorité de conception d'ensemble (ACE) pour la DGA sur le périmètre de l'ensemble supérieur (PA – SNA ou SNLE) et d'autre part autorité de conception (AC) pour le CEA sur le périmètre des Chaufferies Nucléaires Embarquées. La construction du référentiel de sûreté se fait avec ces acteurs "exploitants concepteurs" avant d'y intégrer "l'exploitant en service", à savoir le Chef d'état-major de la Marine.
- Ces distinctions de rôles entre "exploitants Nuc" (INB-IANID) n'existent pas dans le nucléaire civil où seul le "futur exploitant en service" est identifié et responsabilisé. De même, il n'existe aucune notion d'habilitation pour des organismes de conception ou de production dans le nucléaire civil, hormis le cas ESPN déjà cité supra.

4 — MODALITÉS DE SURVEILLANCE

Les modalités de surveillance diffèrent profondément entre filières, car elles sont directement déterminées par la structuration des rôles et responsabilités entre les acteurs.

- La définition des pièces critiques, hors ESPN N1, est

sujette à interprétation (notion d'exigences définies d'AIP et d'EIP) quand la criticité est un sujet beaucoup moins interprétable en aéronautique civile ou de combat. La filière BPN est restée beaucoup plus simple et pragmatique (notions d'abord d'EIS, puis d'AIS, en nombre limité, dans l'esprit de l'ancien arrêté de 1984 orienté Activités Concernées par la Qualité - ACQ)

- En aéronautique, l'acquisition de la confiance est fondée sur un important investissement initial (qualification et audits très exigeants avec barrière à l'entrée ; mais une fois acquise car démontrée, cette confiance permet une relation plus fluide avec le donneur d'ordre (architecte intégrateur) qui ne contrôle alors que par échantillonnage, hors pièce ultra critique ou détection de non-qualités.
- Dans le nucléaire civil, la surveillance est différente pour chaque ensemblier, voire pour chaque chef de projet, elle s'appuie surtout sur des points d'arrêt et de convocation, avec une déclinaison hétérogène et un référentiel sujet à interprétation. De surcroît, comme la démonstration de sûreté n'est véritablement acquise qu'à l'issue de la fabrication, du montage et des essais, de nombreuses demandes complémentaires peuvent émerger rendant le processus long et finalement peu industriel.

LIRE LES DIFFÉRENCES EN UN COUP D'ŒIL - TABLEAU COMPARATIF

Neuf critères structurants notés sur cinq niveaux permettent d'établir la cartographie suivante

	AÉRONAUTIQUE CIVILE	AÉRONAUTIQUE DÉFENSE	NUCLÉAIRE CIVIL	PROPULSION NUCLÉAIRE
CRITÈRE				
Cadence de production	● ● ● ● ●	● ● ● ○ ○	● ● ○ ○ ○	● ● ○ ○ ○
Effet série/standardisation	● ● ● ● ●	● ● ● ● ○	● ● ○ ○ ○	● ● ● ○ ○
Complexité technique	● ● ● ● ○	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●
Prévisibilité de l'autorité	● ● ● ● ●	● ● ● ● ○	● ● ● ○ ○	● ● ● ● ○
Stabilité du référentiel	● ● ● ● ●	● ● ● ● ○	● ● ● ○ ○	● ● ● ● ○
Lisibilité des rôles	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ○ ○	● ● ● ● ●
Exigences d'audit externe	● ● ● ● ●	● ● ● ● ○	● ● ● ○ ○	● ● ● ● ○
Traçabilité documentaire	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ○	● ● ● ● ●
Conséquences de la non-qualité	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●

Échelle : ● ● ● ● ● fort ● ● ● ○ ○ moyen ● ○ ○ ○ ○ faible

CHAPITRE 5

LES CONSTATS SUR LA FILIÈRE NUCLÉAIRE

De l'analyse des entretiens émergent de nombreux constats, plutôt bien partagés par la filière nucléaire, hormis quelques sujets plus contradictoires, ainsi qu'un certain nombre de pistes de réflexion issues des pratiques des autres filières et dont la transposition au domaine nucléaire est à étudier.

MOTS CLÉS DES CONSTATS

Les notions qui reviennent le plus dans les entretiens



DISTINCTION DES RÔLES DE CONCEPTEUR, FABRICANT ET EXPLOITANT

• Il n'existe pas de distinction des rôles des entités en fonction des phases de projet ou de leur place dans la chaîne de valeur : La réglementation actuelle en matière de sûreté nucléaire civile ne définit que la notion d'« exploitant », le reste des activités de la filière industrielle n'étant couverte que par une notion très générale d'« intervenant extérieur », hormis le champ des ESPN qui fait apparaître un acteur dénommé « fabricant », mais qui est de facto un concepteur d'ESPN. Dans les autres filières des rôles distincts sont définis pour les concepteurs, les fabricants et les utilisateurs en service (et pour certaines filières également pour les maintenanciers et les organismes de formation « des opérateurs et des maintenanciers ») ce qui permet l'expression d'attente plus claires et surtout la **mobilisation des compétences idoines par rapport à la phase du cycle de vie** considéré. Ainsi, en propulsion navale, même s'il est porteur du besoin militaire, on ne demande pas au CEMM de s'engager sur le dimensionnement technique et la sûreté en conception du réacteur K22 ou sur l'intégration des Chaufferies Nucléaires Embarquées dans le PA ; Ce sont les maîtrises d'ouvrage du CEA et de la DGA qui s'engagent avec les ingénieries des maîtrises d'œuvre industrielles (NGP et TA) sur ces sujets. Le CEMM est évidemment responsable dans la phase d'exploitation du BPN (personnel de mise en œuvre, RGE, RETEX... c'est de facto l'exploitant durant la phase opérationnelle).

EXPLICITATION DES RESPONSABILITÉS ET LA QUALIFICATION DES ACTEURS

• Il n'existe pas de système de délégation de responsabilité donc pas de découpage fonctionnel des installations (gestion de configuration ad-hoc) permettant de séparer les rôles (ensemblier/concepteur de sous-ensemble/fabricant/exploitant en service). L'exploitant nucléaire est censé maîtriser, dans le futur lorsque l'INB n'est pas encore en service, sans limites claires les détails des systèmes de l'installations qu'il conçoit (même si d'autres que lui y concourent fortement) et la délégation de responsabilité est très entravée. Ceci conduit l'exploitant à devoir se doter en interne de compétence éloignées de son cœur de métier, EDF doit ainsi par

exemple développer des compétences pour surveiller la fabrication de moteurs diesel ou la réalisation du génie civil. Même la phase critique de montage de l'INB pose un problème puisque l'exploitant est responsable d'un chantier qui ne dispose d'aucun de ses « cols bleus » et s'appuie sur des compétences extérieures à l'entreprise. À l'inverse, un système d'explicitation des responsabilités et de qualification des acteurs permet à un avionneur aéronautique civil ou militaire d'encadrer la délégation de la conception de sous-ensembles, comme les trains d'atterrissage ou les inverseurs de poussée, à des acteurs plus compétents que lui-même, pour ces éléments. De même, la *Final Assembly Line* (FAL), équivalente à la phase de montage ou au mode de contractualisation clé en main (EPCC), est sous sa responsabilité avec des compétences internes à l'entreprise.

INTÉGRATION D'UNE RÉELLE APPROCHE PROBABILISTE DANS LA DÉMONSTRATION DE SÛRETÉ

• Dans l'aéronautique civile, dans l'aéronautique de combat, dans la propulsion nucléaire, les démonstrations de sûreté reposent sur une approche **probabiliste**, des arbres de défaillance, des calculs de fiabilité, des scénarios en nombre limité et quantifiés. Pour le **nucléaire civil français** (les USA adoptant une approche probabiliste), il faut noter une **exception** : l'approche y est fondamentalement et historiquement **déterministe**. C'est même un point qui a failli être codé en dur dans la loi... Le point n'est du tout anecdotique, en particulier en termes de durée de l'instruction des dossiers de sûreté : la démonstration de conformité aux hypothèses n'est acquise « **pour de bon** » qu'à la fin du processus de fabrication et de montage, après essais. Ce point conduit à un dilemme entre la taille du domaine spécifié en conception, par nature limité pour garantir la tenue des exigences, et la réalité physique de l'objet fabriqué qui sort souvent du domaine spécifié et justifie donc, a posteriori, toute une nouvelle phase de démonstration de conformité. pour chaque scénario de l'approche déterministe adoptée. Au moment où ce rapport est écrit, la conformité de certaines productions du futur premier EPR2 n'est pas encore acquise.

INTERPRÉTATION DES RÉFÉRENTIELS ET EXIGENCES

• Il apparaît que le référentiel d'exigences est interprétable (associé à une autorité qui n'a pas de mission d'accompagnement, même si elle publie des guides à vocation pédagogique) : les gestes de fabrication devant faire l'objet d'une surveillance ne sont pas définis de façon univoque, seule une notion très générale « d'activité importante pour la protection » est définie par la réglementation, ce qui conduit à autant d'interprétation que de **triplets** (spécificateurs, réalisateurs, inspecteurs), eux-mêmes variables

au cours du temps sur un même projet. Il en résulte un échec d'exigences construit par jurisprudence, régulièrement remis en cause et dont ne se dégage pas de cohérence d'ensemble ce qui complique la spécification des attendus et la contractualisation des fabrications d'équipement. Il est notable que cette « dérive des AIP » n'ait pas touché de la même manière le domaine de la PN : ainsi l'arrêté IANID de 2022 qui abroge pour les INBS l'arrêté de 1984 (Activité Concernées par la Qualité - ACQ) ne conduit pas à une telle inflation des AIP, où la simple **fourniture** d'un plan pour une pièce nucléaire civile peut-être définie comme une AIP au lieu de se concentrer sur le travail de **dimensionnement en conception** de la pièce justifiant les exigences définies de l'EIP/EIS.

STANDARDISATION DES PROCÉDURES ET PROCESSUS DE FABRICATION

• Il est constaté un manque d'uniformisation des procédés spéciaux (Soudage, traitement thermique, traitement de surface, contrôles non-destructifs, etc.). Chaque projet nucléaire définit ses propres exigences en termes de mode opératoire de fabrication à suivre. Il en résulte des volumes documentaires anormalement élevés pour la spécification technique des commandes et un besoin d'analyse documentaire trop élevé en atelier (très sensible à partir du deuxième rang de sous-traitance), surtout que le RCC-M est particulièrement pauvre dans certains domaines comme le traitement thermique. À l'inverse la propulsion nucléaire ainsi que les aéronautiques civiles et militaires s'appuient sur des corpus de méthodes de fabrication standardisées (Nadcap pour l'aéronautique civile ou équivalent Dassault pour l'aéronautique de combat, recueil PN) qui permettent d'asseoir une démarche de qualification/accréditation des fournisseurs largement reconnue au niveau national voire mondial (Nadcap). C'est la **première piste** proposée à l'approfondissement pour un premier périmètre limité aux divers traitements thermiques du nucléaire civil, voire PN.

HABILITATION DES CONCEPTEURS, FOURNISSEURS ET PRODUCTEURS AU NIVEAU FILIÈRE

• Il n'existe pas de démarche de qualification/habilitation des fournisseurs au niveau filière : chaque exploitant, voire chaque chargé d'affaire, définit sa propre démarche de qualification des fournisseurs ce qui conduit à une démultiplication des audits de fournisseurs qui en subissent autant que de client finaux qu'ils servent et leur témoignage quand ils sont en soutien de plusieurs filières est éloquent. Par exemple, un fournisseur de rang 2 qui alimente des fournisseurs rang 1 de EDF, Orano et du CEA va subir des audits/inspections de chaque rang 1, d'EDF, d'Orano, du CEA et de l'ASNR. La même situation n'induirait par exemple qu'un seul audit dans l'aéronautique.

- Il existe en aéronautique civile ou de combat (militaire), une notion d'habilitation officielle des organismes de conception (DO - Design Organisation) et de fabrication industrielle (PO - Production Organisation) sur un périmètre bien défini (celui du certificat de type de l'aéronef ou du moteur ou de l'hélice ou du sous-ensemble concerné), complétée par un accord formel entre le concepteur et le fabricant (accord DO/PO). Cet accord définit l'ensemble des données et des exigences de conception qui doivent être réalisées en production pour fournir une pièce conforme à la définition du certificat de type. Si l'organisme de production respecte cela, son agrément de PO garantit que la pièce sera conforme, en particulier vis-à-vis des **exigences de la certification** dont les éléments de "sécurité aéronautique". Cette approche n'existe pas dans le nucléaire, mais cette notion est actuellement étudiée par TechnicAtome dans le cadre de la PN pour certaines pièces "de série" ou "à configuration figée". Une telle organisation modifie profondément la manière dont la surveillance est effectuée. C'est l'autorité qui donne les agréments après un processus sélectif et c'est également elle qui surveille le maintien de l'agrément dans le temps, mais en régime établi, la surveillance est drastiquement allégée pour les donneurs d'ordre / architectes intégrateurs.
- Dans ce cadre DO/PO, une exigence de conception **non réalisable en pratique** par un industriel est rédhibitoire pour l'obtention d'un agrément de conception et pour l'obtention du certificat de type en aéronautique, alors que ce genre de situation se retrouve fréquemment dans le nucléaire civil où l'on spécifie aux limites du domaine industriel accessible soit à cause des performances demandées, soit à cause des marges prises en démonstration de sûreté et qui ne peuvent être rendues qu'en toute fin de processus de fabrication, montage et essais. Ce phénomène de découplage entre "l'objet physique réalisé" et le rapport de sûreté de "l'objet conçu" est un marqueur lourd de la filière nucléaire civile. C'est bien l'écart entre les marges exigées en conception et les marges réalisables en production qui crée un découplage.

SPÉCIFICATIONS DE CERTIFICATION

- La notion d'AIP de fabrication, centrale dans le nucléaire, n'a pas d'équivalent strict en aéronautique civile ou militaire. En effet, les exigences de haut niveau qui sont décrites dans la spécification de certification (CS25/29) avec les moyens de conformités acceptables associés sont **automatiquement garanties** tenues en production par le **quadruplet** (existence d'un certificat de type CT donné par l'autorité, détention d'un agrément DO en cours de validité pour ce CT, détention d'un agrément PO en cours de validité pour ce CT, existence d'un accord DO/PO pour ce CT). C'est la confiance collective dans la robustesse du modèle qui fonde le système. En fait, la définition des gestes sensibles de fabrication est obtenue par le

couple (exigence de la CS25/29, moyens de conformité acceptables ou alternatifs également présent dans la CS) en sus du quadruplet évoqué supra. C'est la **seconde piste** proposée à l'approfondissement pour un périmètre limité à certains réchauffeurs.

TRAITEMENT DES CFSI

- La dynamique CFSI qui a **également** mobilisé les autres filières comparées, ne doit pas se traduire par une présomption généralisée de fraude, au risque de dégrader l'organisation industrielle, la confiance des acteurs et provoquer in fine une éviction de certains acteurs vers d'autres filières moins "systématiquement déifiantes". La présomption de bonne foi ne doit pas être exclue et le coût du traitement des CFSI présumés (délais - surcoûts) doit rester cohérent avec les enjeux de montée en puissance de la filière.

OPPORTUNITÉ DES CONTRÔLES INOPINÉS

- Le sujet de la pertinence des **contrôles inopinés** n'a pu être totalement clos. Il semble que la filière PN les juge inutiles car "même préparée, on finit par voir la réalité du terrain lors d'une inspection"; ils sont absents du champ normal aéronautique civil ou militaire, même si un événement technique majeur peut en provoquer. Au sein de la filière nucléaire civile, les avis sont très partagés de l'ASNR aux exploitants en passant par les sous-traitants...

SURVEILLANCE OPTIMISÉE À TRAVAILLER

- Un certain nombre de témoignages internes à la filière ont posé clairement la question de la soutenabilité de l'organisation actuelle de la surveillance au regard des ambitions : le nombre et la gestion des points d'arrêt semblent incompatibles avec le chemin critique d'un chantier de 70 mois. Il est clair que la nouvelle approche d'EDF avec une surveillance optimisée articulée autour d'un planning fiable et partagé va dans le bon sens, mais elle doit très probablement être complétée par d'autres pistes touchant à l'organisation de la filière.

« Le vrai sujet, ce n'est pas le niveau d'exigence – il est partout très élevé. C'est la façon dont on l'organise, et surtout, dont on le rend lisible pour les opérationnels. »

– Un expert sûreté nucléaire interrogé dans le cadre de l'étude

LE DIFFÉRENTIEL DE MATURITÉ, DIMENSION PAR DIMENSION

Ce radar synthétise le positionnement des quatre filières sur huit dimensions structurantes de la surveillance. Il met en évidence l'écart de maturité du nucléaire civil – non pas sur l'exigence, mais sur la lisibilité de la gouvernance, l'habilitation des organismes et la délégation de surveillance.

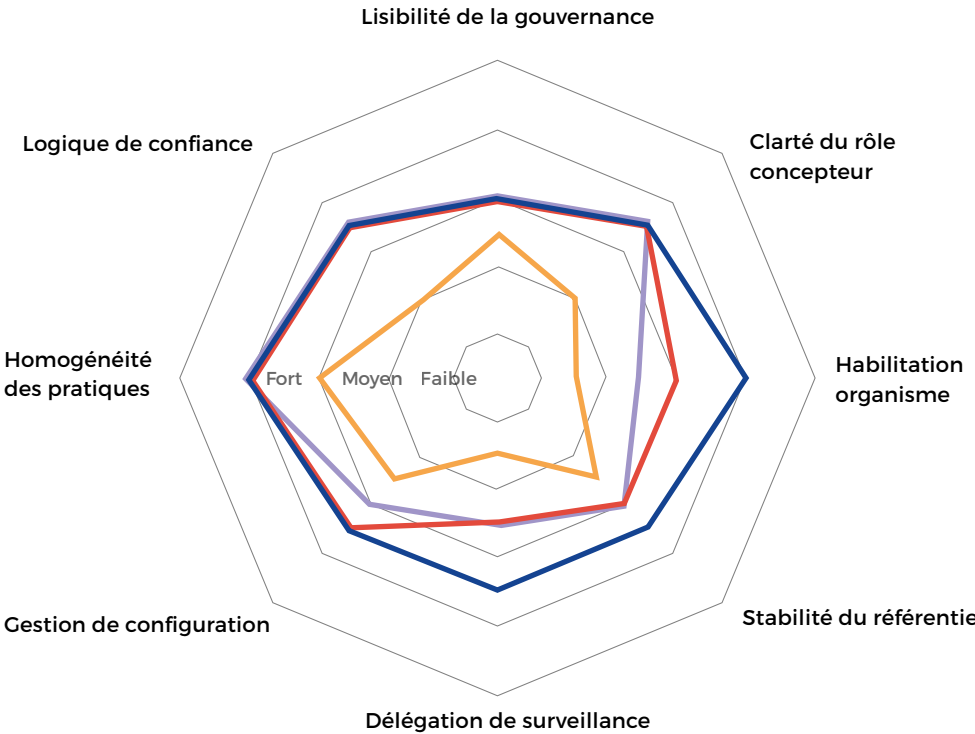
Radar des pratiques de surveillance - maturité comparée sur 8 dimensions

AÉRONAUTIQUE CIVILE

AÉRONAUTIQUE DÉFENSE

DÉFENSE BPN

NUCLÉAIRE CIVIL

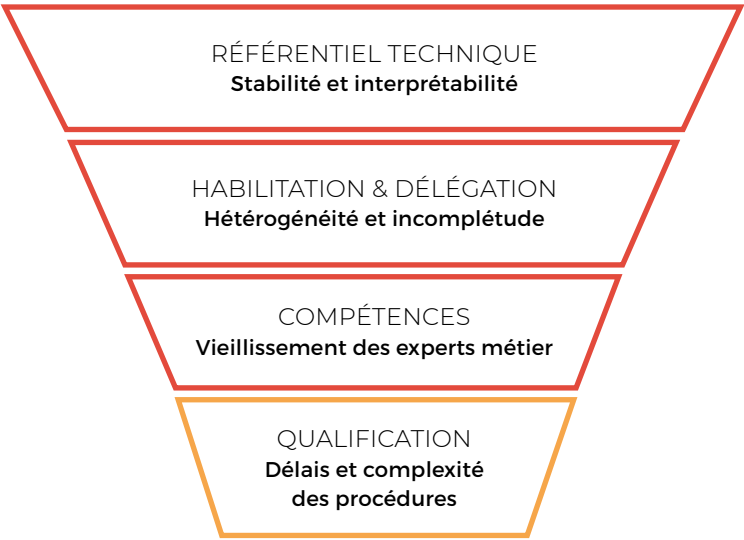


GOULOT D'ÉTRANGLEMENT

Les points d'étranglement que la transformation devra traiter en priorité.

CRITIQUE

À SURVEILLER



CHAPITRE 6

LES RECOMMANDATIONS

L'étude conduit à proposer une feuille de route pour la filière nucléaire, structurée en trois horizons temporels et trois axes transverses. Court terme : harmoniser. Moyen terme : converger. Long terme : transformer.

1 — COURT TERME (0-2 ANS)

- **Stabiliser** le référentiel et la configuration des INB (granularité eBOM) du nouveau nucléaire — priorité jugée indispensable, sur la base technique du code RCC-M EPR2 que vient d'approuver l'ASNR.
- **Ajuster** le périmètre des AIP de fabrication pour cibler la surveillance sur les éléments réellement critiques au strict sens de l'étude de sûreté.
- **Optimiser** la planification des contrôles (plannings fiables partagés, éventuelles visites non-annoncées, mais survenant « au bon moment ») et supprimer les doublons donneurs d'ordre / sous-traitants.

2 — LONG TERME (± 5 ANS)

- **Faire évoluer** la gouvernance pour distinguer clairement - au moins - l'autorité (ou les autorités à l'instar de la PN) de conception, le(s) fabricant(s), la maîtrise d'ouvrage et l'exploitant en service.
- **S'inspirer** de l'habilitation aéronautique (accord DO/PO, surveillance graduée pilotée par le risque) pour clarifier les attendus, responsabiliser les acteurs qui détiennent le savoir-faire et fluidifier les prises de décisions. Suivre et s'inspirer des démarches de même nature lancées par les acteurs de la PN.
- **Structurer** une graduation de la surveillance différenciée selon la complexité, le REX et la performance démontrée du fournisseur.

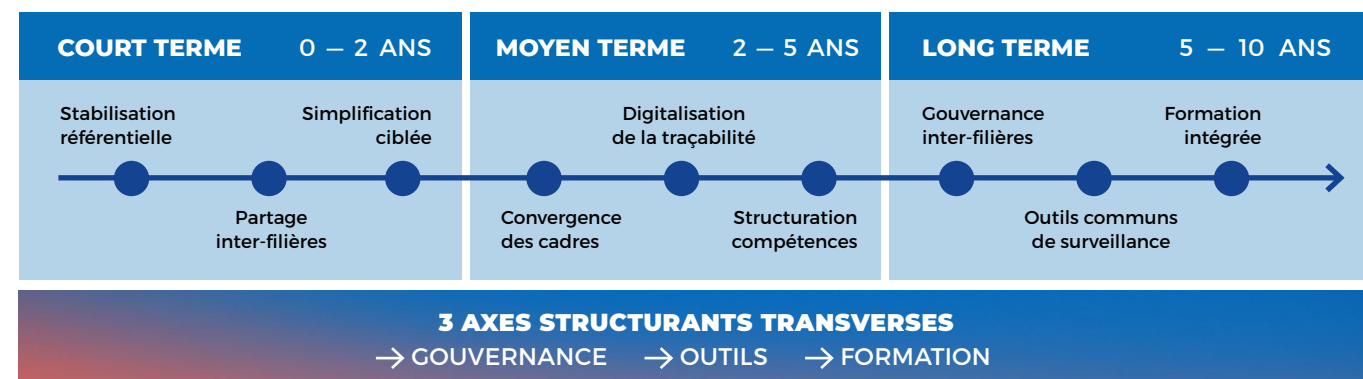
3 — TROIS AXES STRUCTURANTS TRANSVERSES

- **Gouvernance** — une transformation d'ensemble cohérente, pilotée par une entité identifiée et validée par les autorités compétentes.
- **Outils** — référentiels techniques et d'accréditation communs (ou a minima à base partagée), matrices de conformité, démarches AMDEC et pilotage par le risque.
- **Formation** — montée en compétence des auditeurs/inspecteurs (en particulier sur les sujets techniques qui sont aujourd'hui mieux maîtrisés par les sous-traitants que par les "exploitants omni-responsables" et formation des experts au travail collaboratif.

« Les filières comparées partagent un même niveau d'ambition. Ce qui change, c'est la lisibilité du chemin pour y parvenir. La recommandation centrale est de rendre ce chemin lisible – d'abord pour les opérationnels. »

FEUILLE DE ROUTE OPÉRATIONNELLE

Trois horizons temporels, neuf actions structurées et trois axes transverses qui les irriguent toutes. Cette feuille de route peut servir de base à la planification opérationnelle des filières concernées.



CHAPITRE 7

DE LA DONNÉE DE SORTIE AUX PREUVES DE CONCEPT

L'intercomparaison n'est pas une fin en soi. Elle produit une donnée de sortie qui doit être valorisée par des applications opérationnelles concrètes. Deux preuves de concept ont été identifiées pour engager dès à présent ce passage de l'étude à l'action.

DEUX PREUVES DE CONCEPT POUR PASSER À L'ACTION

Pour identifier comment les enseignements de l'étude pourraient se traduire en améliorations concrètes, deux POC ont été retenus. Tous deux reposent sur la logique d'adaptation de pratiques mises en évidence par la comparaison inter-filières.

POC 1 PO / DO SUR DES EIP CHAUDRONNÉS

Démontrer la faisabilité d'un transfert de pratiques aéronautiques vers la filière nucléaire civile, appliqué à des réchauffeurs. L'objectif est d'identifier et de "reconnaître" un organisme de conception et un organisme de production pour un périmètre technique donné de manière harmonisée entre exploitants, en s'inspirant des méthodes d'instruction éprouvées en aéronautique civile et militaire. Le périmètre du POC irait jusqu'aux phases de montage de l'équipement concerné dans une INB.

POC 2 CERTIFICATION DU TRAITEMENT THERMIQUE

Qualifier les fours et procédés de traitement thermique nucléaires par un schéma de certification inspiré de l'approche Nadcap, référentiel d'audit mondial éprouvé en aéronautique civile pour les procédés spéciaux, mais qui existe également en équivalent Défense (Dassault). Une déclinaison « recueil d'exigences nucléaires » pour le NUC permettrait de fiabiliser la qualification des procédés spéciaux, d'élargir le panel des fournisseurs certifiés et de considérablement alléger la surveillance des fournisseurs qui travailleraient pour le NUC comme ils le font aujourd'hui pour d'autres secteurs. La convergence du contenu des 2 référentiels serait étudiée.

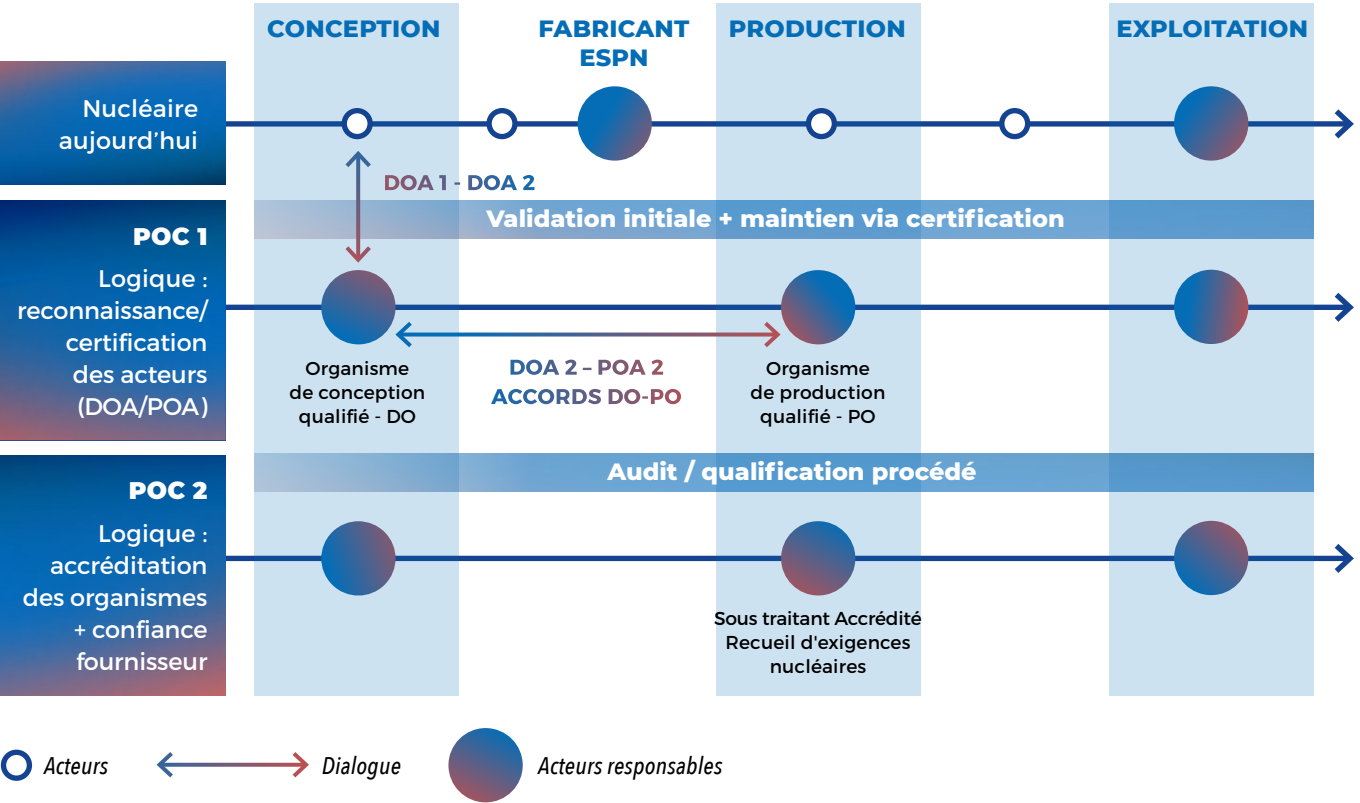
Ces deux POC ne sont pas des cas d'école. Ils correspondent à des sujets opérationnels concrets identifiés comme prioritaires par les filières concernées. Leur succès conditionnera la crédibilité de la démarche inter-filières dans son ensemble.

LES DEUX POC EN SYNTHÈSE

Objet, logique de transfert, livrables visés et cadre opérationnel : la fiche ci-dessous présente les deux preuves de concept sous un format synoptique permettant d'engager la discussion avec les parties prenantes.

Synthèse des deux preuves de concept

POC 1 PO / DO Transfert de pratiques aéronautique → nucléaire	POC 1 TRAITEMENT THERMIQUE Certification type Recueil d'exigences nucléaires
→ OBJET EIP Chaudronné	→ OBJET Recueil d'exigences nucléaires Schéma aéronautique adapté au nucléaire
→ LIVRABLES VISÉS • Référentiel commun de PO/DO entre exploitants • Relations DOA1 - DOA2 et DOA2-POA2 • Méthode d'évaluation de criticité • Cartographie des AIP/EIP harmonisée • Guide d'instruction inspiré de l'aéronautique	→ LIVRABLES VISÉS • Schéma de certification « recueil d'exigences nucléaires » pour certains traitements thermiques • Référentiel d'audit des procédés thermiques • Liste de fournisseurs qualifiés • Référentiel convergent Aéro - NUC • Méthode de pilotage de l'aptitude aux procédés
6-9 mois - durée 2-3 exploitants EPR2/ADF cible	6-9 mois - durée 1 forge pilote TTh procédés
DE L'ETUDE AUX ACTIONS • Ces deux POC concrétisent les recommandations « court terme » de la feuille de route	



GAINS ATTENDUS POC 1 :

- **-30% heures estimées** (15% en surveillance et 15% en production)
- Stabilisation / Homogénéisation des méthodes de conception, ainsi que de leur pertinence vis-à-vis des démonstrations de sûreté
- Réduction drastique des cycles de validation successifs (OH-ensemblier/EDF) sur le périmètre concerné
- Clarification des responsabilités entre les différents acteurs (ONET - sous-traitant OH)
- Meilleur cadrage entre concepteurs (ONET) et les sous-traitants fabricants (ACM), sans intervention d'EDF/OH
- Capitalisation des gains par répllication.

GAINS ATTENDUS POC 2 :

- Réduction forte de la surveillance ensemblier
- Traçabilité renforcée (micro-étapes)
- Montée en compétence opérateurs
- Moins de délais / encours
- Amélioration de la performance de livraison / OTD
- Planning plus robuste
- Réduction des temps de cycle, des délais et des encours, conduisant à une fluidification globale de la production
- Gain en flexibilité dans la planification et la robustesse des calendriers de production, avec une diminution des contraintes liées aux convocations et une plus grande marge de manœuvre opérationnelle
- Amélioration de la performance de livraison (OTD), vers les 95% des standards aéronautiques
- Renforcement de la traçabilité et du niveau de preuve via des fiches d'instruction plus détaillées, intégrant des micro-étapes et des enregistrements associés à chaque opération du traitement thermique, garantissant la conformité démontrable des procédés
- Approche NADCAP centrée davantage sur la formation et la maîtrise des procédés, favorisant une montée en compétence des opérateurs et une amélioration globale de la qualité industrielle
- Évolution du modèle de surveillance vers un système basé sur la confiance et la maturité des fournisseurs, permettant une optimisation des contrôles (réduction des charges de surveillance côté donneur d'ordre)
- Meilleure adéquation entre les compétences des inspecteurs et les objets surveillés, avec une efficacité accrue des inspections lorsqu'elles sont réalisées par des experts métier plutôt que par des généralistes.

CE QU'IL FAUT RETENIR

CONCLUSION

L'intercomparaison des pratiques constitue un levier majeur de transformation des filières industrielles critiques.

OUVERTURE

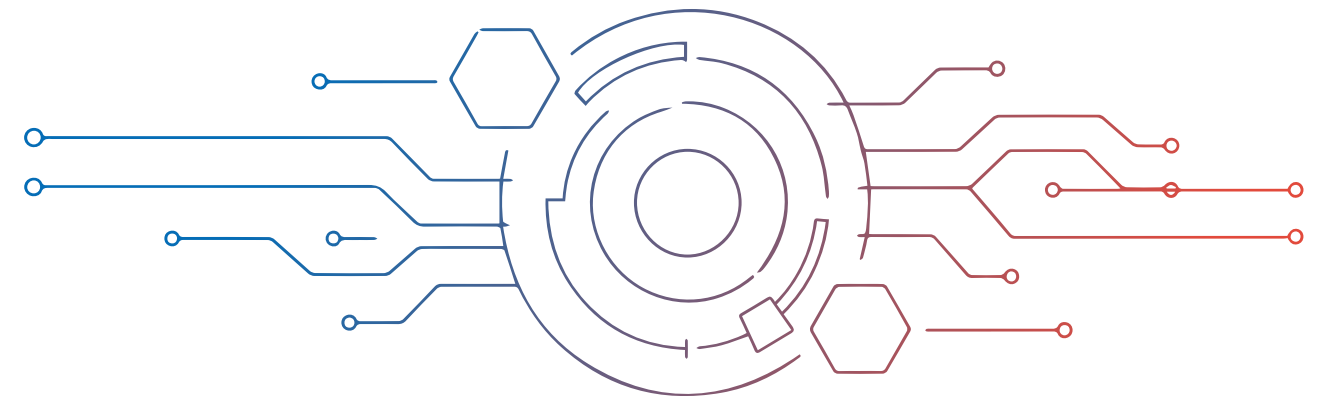
Cette étude marque une première étape. Au-delà des deux POC identifiés supra et dont les résultats seront disponibles 9 mois après le lancement des travaux, d'autres pistes d'analyse complémentaire semblent prometteuses.

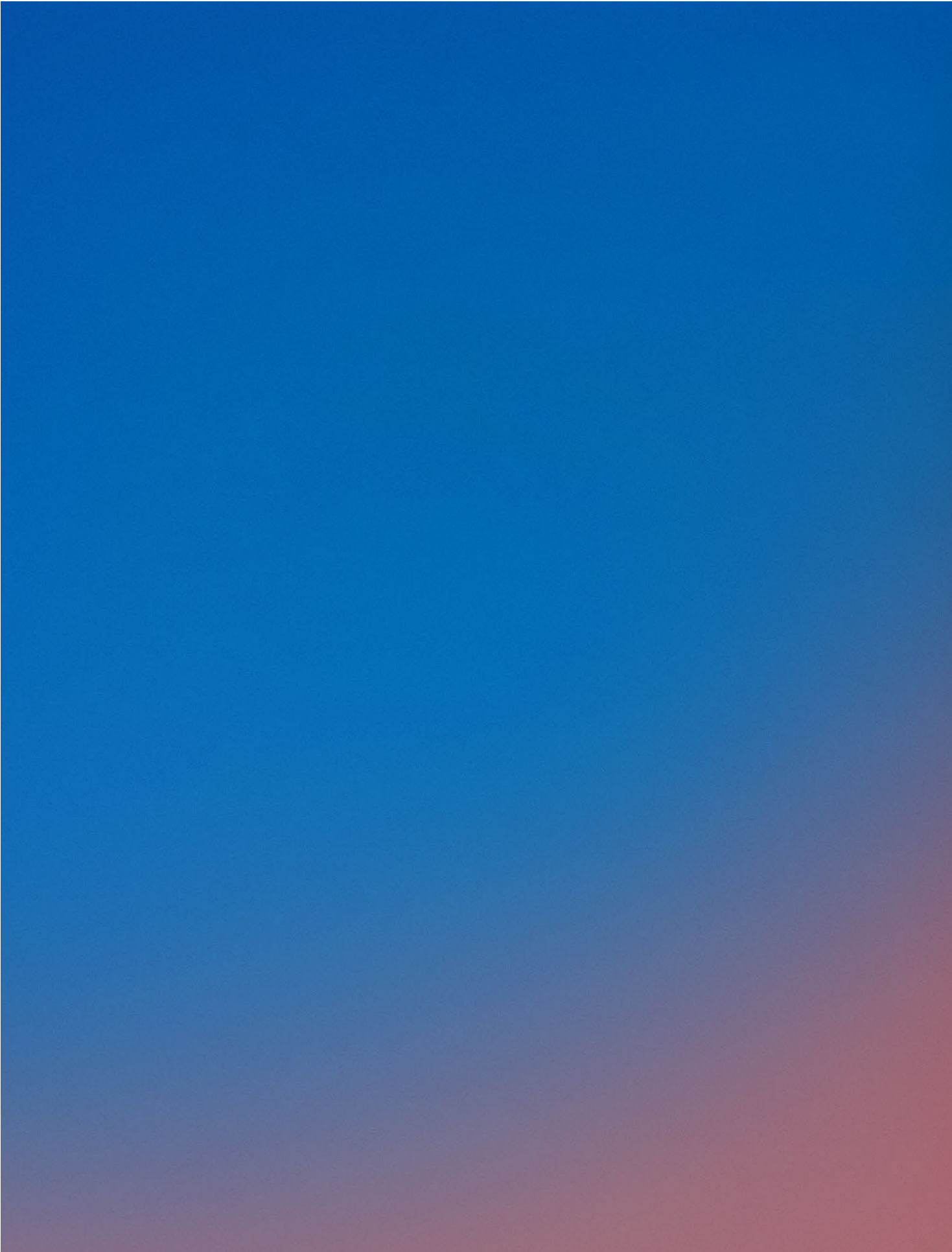
Approfondir la comparaison sur des sujets opérationnels précis :

- Qualification des fournisseurs de la filière nucléaire à l'instar des travaux déjà réalisés par Naval Group pour une partie de sa chaîne d'approvisionnement
- Profondeur de la gestion de la configuration du nucléaire civil avec une recherche accrue d'effet série dans la description des eBoM
- Retour d'expérience, en particulier sous l'angle de la prise en compte par les ingénieurs de conception (et de sûreté) des faits techniques survenus en exploitation dans les démonstrations de sûreté
- Analyse complémentaire des méthodes de détermination des fiabilités cibles entre l'aéronautique et le nucléaire, en réouvrant partiellement le débat déterministe/probabiliste et en s'appuyant sur le RETEX d'exploitation des deux filières
- Travaux complémentaire sur les "moyens de démonstration de conformité acceptables en nucléaire civil, à l'instar du travail fait en aéronautique et codé dans la spécification de certification (CS25/29)

Animer une communauté inter-filières pérenne autour de la surveillance industrielle (méthodes - standardisation – formation commune de certains experts).

La surveillance industrielle n'est pas l'ennemie de la performance et de la sûreté. Bien structurée, lisible et partagée, elle en est la condition. C'est l'ambition que ce livre blanc invite à porter collectivement.





GOUVERNEMENT

*Liberté
Égalité
Fraternité*

SURFEO 
CATCH THE BUSINESS WAVE