



I – Introduction

Les **exigences de sûreté** au sein de l'industrie nucléaire ne cessent **d'augmenter** au fil du temps. Cela peut poser des **contraintes** pour les exploitants de cette industrie, qui cherchent continuellement à développer leur **culture de sûreté**, ainsi qu'à trouver des moyens efficaces pour faciliter les procédures de **démonstration de sûreté**. C'est précisément pour répondre à cette problématique au sein de leur CNPE que le groupe d'EDF accompagné par les grands acteurs du nucléaire français, lance en 2020 le projet : « **Réacteur Numérique** ». Un projet de R&D soutenu par le GIFEN et Nuclear Valley, visant à créer le **jumeau numérique** d'un **réacteur nucléaire**. Cet outil permettra de **s'immerger virtuellement** dans un réacteur en fonctionnement pour ainsi mieux comprendre les phénomènes physiques qui s'y opèrent et pouvoir valider, grâce à la **simulation**, les **exigences de sûreté**.

II - Un réacteur numérique, qu'est-ce que c'est ?

Le **réacteur numérique** désigne le **jumeau numérique** d'un **réacteur nucléaire**. Ce jumeau constitue une véritable **réplique numérique** et fonctionnelle en temps réel d'un réacteur existant. Il suit son cycle de vie de la **conception** au **démantèlement** avec ses spécificités et ses modifications durant son **exploitation** [4].

Il est né de l'association de différentes technologies : la **simulation**, la **visualisation scientifique** et le **calcul haute performance** [3].



2 produits développés

Une Plateforme de simulation sur la physique des réacteurs

Un Simulateur d'entraînement pour exploitants

III – Quel est l'Intérêt pour la sûreté ?

On retrouve **3 intérêts** principaux [2] :

Pour l'ingénierie

- ✓ Renforce les études
- ✓ Sécurise les marges de sûreté
- ✓ Facilite les démonstrations de sûreté
- ✓ Conception de moyens plus sûrs

Pour l'exploitation

- ✓ Possibilité de tester différents scénarios
- ✓ Sensibilisation sur l'impact de toute opération
- ✓ Potentielle aide à la conduite

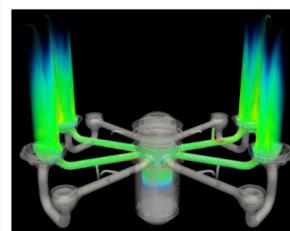


Figure 1. Exemple de représentation de simulation dans cadre d'études

Visualisation

- ✓ Compréhension des phénomènes physiques complexes
- ✓ Simplifie les études
- ✓ Permet la validation des exigences de sûreté

- ✓ Maîtrise de « ce que l'on ne peut voir »
- ✓ améliore la qualité d'exploitation
- ✓ augmente la culture sûreté du personnel



Figure 2. Exemple de visualisation avancée d'écoulement de fluide dans circuit primaire

Représentativité

- ✓ Fais gagner les études en précisions
- ✓ Réduis les incertitudes des modèles de calculs et les rends plus prédictif
- ✓ Renforce la validation des modèles par l'ASN

- ✓ Intègre toutes les spécificités de chaque réacteur (tranche) en temps réel
- ✓ Améliore la formation de l'exploitant et garanti le maintien et la montée en compétence

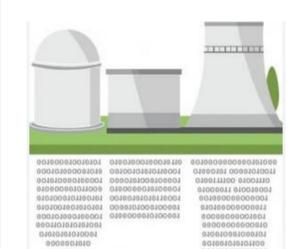


Figure 3. R&D numérique pour transformer le nucléaire – EDF

Sûreté

IV – Quels sont les avancements du projet ?

1^{ère} version de la plateforme de couplage des codes de calculs. Permet de modéliser la physique du réacteur pour les études. [5]



Figure 4. Banc d'intégration de simulation avancé - EDF

Représentativité

1^{ère} version du banc d'exploitation représentatif d'une tranche cible [5]

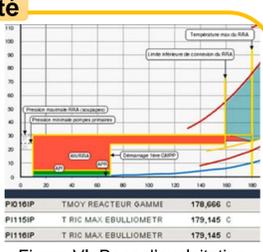


Figure 6. Banc d'exploitation représentatif - EDF

Visualisation

Développement du simulateur d'entraînement des opérateurs, ici la visualisation de la thermo-hydraulique [5]

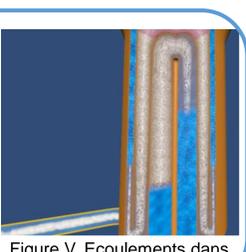


Figure 5. Ecoulements dans maquette épingles GV - EDF

V – Un retour d'expérience aux Etats-Unis

Test réussi pour le jumeau numérique de Magnet (un microréacteur de simulation). Capable de prédire le comportement du système dans différentes conditions et de le piloter en autonomie dans le cadre d'un projet américain



Figure 7. MAGNET Environmental Enclosure - DOE MICRO

VI – Conclusion

Le projet « Réacteur Numérique » est un projet de grande ampleur au vu de son cout : **28,5 M€** (financé par Bpifrance) et de la force de travail déployée : **186 Equivalents temps plein**. Engagé pour une durée de **4 ans**, il porte de **lourdes** ambitions technologiques, industrielles et économiques. Mais les bénéfices apportés par la réalisation de celui-ci se montrent **nécessaires** pour le développement de l'industrie nucléaire [1]. En effet, le Réacteur Numérique, va très certainement devenir indispensable pour répondre aux contraintes de sûreté de façon économique et efficace dans le futur. Mais aussi pour garantir l'attractivité de la filière et relancer sa compétitivité à l'international.

Bibliographie

- 1- GRANRY JC. Les Jumeaux Numériques : un avenir majeur de la simulation en santé. Rev'Sims.2021;3 : 20-23. DOI : 10.48562/revsims-2021-0007
- 2- Benoit Levesque, David Gouyon. Projet « Réacteur Numérique » : vers un Jumeau Numérique de Réacteur Nucléaire. S-mart2021 : 17ème colloque national S-mart, Mar 2021, "S-mart Village" virtuel, France. (hal-03225080) ;
- 3- www.sfen.org/rgn/reacteur-numerique-nucleaire-augmente ;
- 4- www.electricdays.fr/fr/innovations/le-reacteur-numerique ;
- 5- www.edf.fr/groupe-edf/inventer-l-avenir-de-l-energie/r-d-un-savoir-faire-mondial/pepites-r-d/reacteur-numerique/pepites-en-un-clin-d-oeil