



# COMPTE-RENDU

## [Forum] L'Intelligence Artificielle : vecteur de transformation des services à l'industrie nucléaire

05-06 février 2025, Cherbourg-en-Cotentin

## Avant-propos

Le présent compte-rendu restitue les échanges et enseignements issus du forum intitulé « L'Intelligence Artificielle : vecteur de transformation des services à l'industrie nucléaire », organisé par le Groupe CERAP les 5 et 6 février 2025 à Cherbourg-en-Cotentin.

Cet événement a rassemblé de nombreux acteurs du secteur nucléaire (groupes industriels, petites et moyennes entreprises, start-up, représentants institutionnels et académiques) ainsi que des experts en intelligence artificielle, réunis autour de réflexions stratégiques et opérationnelles sur les apports de l'intelligence artificielle dans les services à l'industrie nucléaire.

Ce document a été rédigé en concertation étroite avec l'ensemble des intervenants du forum, afin de refléter au plus juste la teneur des conférences, tables rondes et discussions qui ont animé cette journée et demie. Il vise à partager une vision fidèle et synthétique des problématiques abordées et des perspectives ouvertes par l'intégration croissante de l'intelligence artificielle dans les pratiques industrielles du secteur nucléaire.



# Table des matières

<b>1. Introduction</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1. Contexte et enjeux du forum</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2. Objectifs de ce compte-rendu</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Synthèse des échanges</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1. Éléments de contexte</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2. Conférences</b> .....	<b>6</b>
2.2.1. Les enjeux de l'industrie nucléaire .....	6
2.2.2. Introduction à l'IA d'hier, d'aujourd'hui et de demain .....	7
2.2.3. L'IA : Accélérateur d'Innovation Scientifique .....	9
2.2.4. Énergie de Fusion et IA : quelles applications ? .....	11
<b>2.3. Solutions proposées par des start-ups et jeunes entreprises</b> .....	<b>12</b>
2.3.1. Conscience Robotics – Iliès ZAOUÏ .....	12
2.3.2. FastPoint – Vincent AUVRAY, Nicolas LECONTE .....	12
2.3.3. Devolis – David MOREAU, Maxime MICHELIER .....	12
<b>2.4. Tables rondes</b> .....	<b>12</b>
2.4.1. L'intégration de l'intelligence artificielle chez les exploitants industriels .....	12
2.4.2. L'intelligence artificielle pour la détection nucléaire .....	17
<b>3. Conclusions et perspectives</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1. Enseignements tirés de ce forum</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2. Feuille de route stratégique</b> .....	<b>18</b>
<b>3.3. Aspects réglementaires et éthiques</b> .....	<b>18</b>
<b>4. Listes des contributeurs</b> .....	<b>19</b>

# 1. Introduction

L'industrie nucléaire, au cœur des enjeux de transition énergétique et de sûreté industrielle, est confrontée à des défis croissants. Les perspectives de prolongation du parc nucléaire existant et de constructions neuves poussent les acteurs à explorer des solutions innovantes, parmi lesquelles l'intelligence artificielle (IA) émerge comme un levier stratégique capable de transformer les services d'ingénierie, de maintenance, de surveillance et de gestion des installations.

C'est dans ce contexte que le Groupe CERAP a organisé le forum intitulé "L'intelligence artificielle : vecteur de transformation des services à l'industrie nucléaire", qui a réuni experts industriels et académiques, représentants de start-ups, petites et moyennes entreprises ou groupes industriels.

## 1.1. Contexte et enjeux du forum

L'enjeu de ce forum reposait sur l'appropriation des révolutions en matière de productivité, de sécurité ou d'automatisation que promet l'intelligence artificielle. Cette-dernière apparaît en effet comme un outil précieux :

- Pour permettre aux collaborateurs de l'entreprise de se recentrer sur des tâches intéressantes et responsabilisantes d'un part,
- Pour améliorer la gestion des connaissances de l'entreprise d'autre part,
- Enfin, pour optimiser l'exploitation des données disponibles et en tirer un maximum d'informations pertinentes.

Quelques applications pour nos métiers de service à l'industrie nucléaire ont orienté l'organisation du forum dont ce document constitue le compte-rendu. Ces principaux champs d'applications sont :

1. **Le traitement documentaire** : génération de synthèses, qu'il s'agisse par exemple du bilan annuel d'une prestation ou de l'analyse d'un corpus de documents pour en vérifier la cohérence et constituer une base de connaissances organisée
2. **Les systèmes experts** : maintenance préventive ou aide au diagnostic visant à réduire les temps d'immobilisation ou augmenter la durée de vie des équipements, par la centralisation des retours d'expérience, la suggestion en amont d'études ou en temps réel pendant une opération
3. **La modélisation** : reproduction du comportement d'un système physique difficile à modéliser analytiquement pour détecter des anomalies subtiles et contribuer à la sûreté des installations
4. **La formation et simulation** : simulation en réalité augmentée ou virtuelle pour donner accès aux opérateurs à des environnements d'entraînement réalistes et améliorer leurs compétences dans des scénarios complexes
5. **L'analyse d'images** : annotation automatique de photos ou vidéos, détection de situations dangereuses, aide à la prise de décision, matérialisation d'une zone à accès restreint pendant des opérations

## 1.2. Objectifs de ce compte-rendu

Ce compte-rendu vise à structurer les résultats des discussions menées lors du forum afin de poser les bases d'une démarche collaborative et opérationnelle au sein de la filière nucléaire. Il vise à :

1. **Formaliser les réflexions et propositions issues des échanges** : représenter les points de convergence sur les cas d'usage prioritaires, les technologies à développer et les conditions de mise en œuvre de l'IA.
2. **Identifier les enjeux critiques** : aborder les questions de sûreté, de cybersécurité, de gestion des données et de réglementation.
3. **Définir une feuille de route commune** : proposer des étapes clés pour déployer efficacement l'IA dans les différents services de la filière.
4. **Favoriser la collaboration entre les acteurs** : encourager les partenariats entre industriels, centres de recherche et institutions publiques.

En capitalisant sur les expertises variées des participants, ce compte-rendu se veut un outil de référence pour orienter les actions à venir, dans le but de placer l'IA au service de la performance, de la sûreté et de l'excellence opérationnelle de l'industrie nucléaire. Il vise à dresser un panorama des opportunités qu'offre l'intelligence artificielle pour répondre aux besoins spécifiques de la filière et de discuter des obstacles techniques, éthiques et réglementaires à surmonter.

# 2. Synthèse des échanges

## 2.1. Éléments de contexte

En introduction du forum, M. Josquin Vernon, de la Délégation Interministérielle au Nouveau Nucléaire (DINN) s'est exprimé sur le fait qu'une démonstration de sûreté, comme son nom le laisse entendre, repose sur une démonstration et devra toujours à ce titre être endossable par un esprit humain, bien que cette considération laisse une large place à l'intégration d'intelligence artificielle dans de telles démonstrations. Aussi, il est essentiel de garantir que les industriels disposent à long terme d'une compréhension d'ensemble et d'une capacité d'arbitrage du triptyque de la surveillance industrielle : système qualité, réalité d'atelier et chainage exigence-démonstration de sûreté. Dans le cas contraire, en particulier si les acteurs de la surveillance ne comprennent pas bien ce que font et ne font pas leurs outils, l'intelligence artificielle conduira à empiler des contrôles et des marges qui éroderont la performance globale qu'elle apportera par ailleurs.

Il en résulte de porter une attention particulière :

- D'une part, à la nécessaire qualification des outils concourants à la démonstration de sûreté, notamment ceux utilisant l'intelligence artificielle,
- D'autre part, à l'intégration de ces outils dans l'organisation de la réalisation de la démonstration de sûreté,
- Enfin, à l'acculturation aux possibilités et aux limites de l'intelligence artificielle de toute la chaîne de décision en matière de surveillance industrielle.

En termes de déploiement d'outils recourant à l'intelligence artificielle, une approche raisonnable peut porter sur l'utilisation d'outils moins bien qualifiés mais beaucoup plus rapides pour mieux cibler des situations à soumettre à des calculs scientifiques, quant à eux qualifiés.

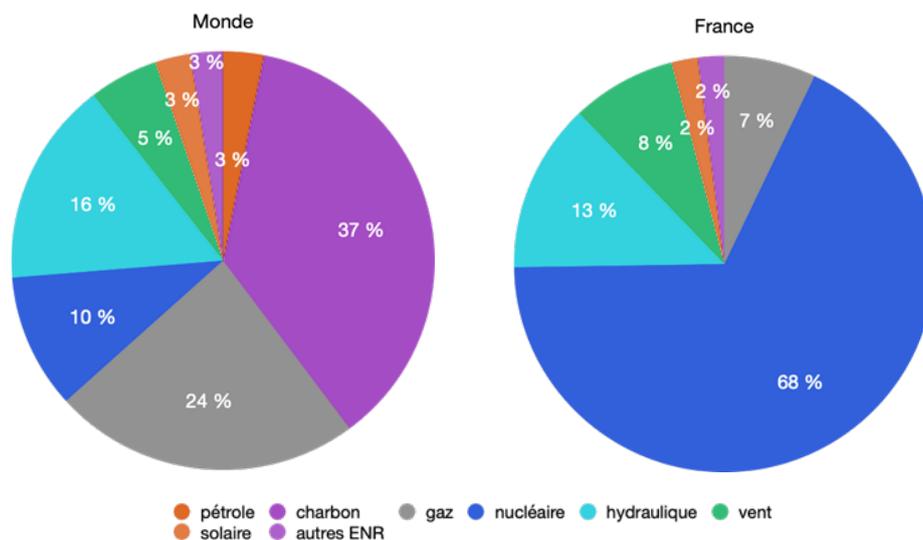
## 2.2. Conférences

### 2.2.1. Les enjeux de l'industrie nucléaire

Par Emmanuelle GALICHET, Enseignante chercheuse en sciences et technologies nucléaires, Présidente de WiN France.

Les enjeux de la filière nucléaire ont été décrits à travers une vue générale de l'énergie nucléaire en France et dans le Monde, des grands programmes industriels passés et actuels jusqu'à ceux à venir et la construction des EPR et réacteurs de future génération.

À l'échelle mondiale, le nucléaire est la deuxième source de production d'électricité bas-carbone. Le cas de la France, où plus de 90% de l'électricité est bas-carbone grâce à l'énergie nucléaire, relève de l'exception.



Le numérique représente quant à lui une part importante de la consommation énergétique mondiale. Avec quelques 34 milliards d'équipements – avoisinant 223 millions de tonnes, le numérique a représenté, en 2019, 1300 TWh d'énergie consommée (soit ~100 EPR) et 7.8 millions de m<sup>3</sup> d'eau douce, conduisant à l'émission de 1400 millions de tonnes de gaz à effet de serre. Ces besoins en énergie, pour les centres de données et l'intelligence artificielle vont croissants et devraient atteindre à eux seuls 1000 TWh en 2030, soit trois fois la production française.

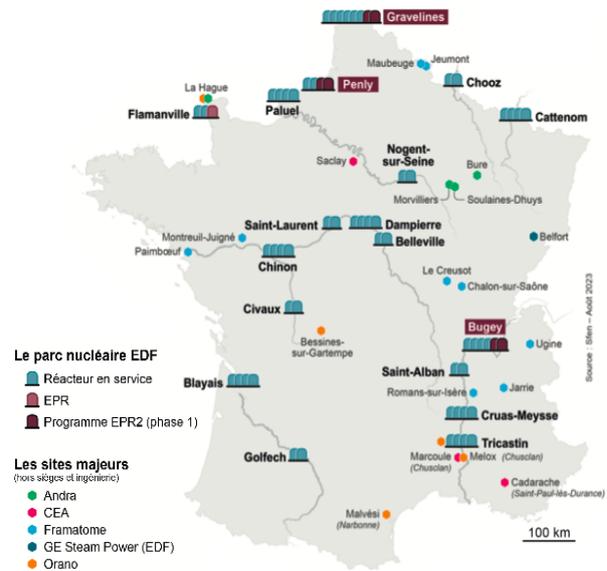
Dans ce contexte, les besoins en ressources minérales pour la production d'énergie nucléaire vont aussi croissants et font apparaître des conflits d'usage des matériaux critiques (indium, gallium, tantale, néodyme, germanium ou hafnium notamment), à la fois sur les technologies bas-carbone et pour les réseaux électriques, en concurrence avec d'autres applications, tels que les mesures nucléaires ou l'imagerie médicale.

En France, le secteur nucléaire est la 3<sup>e</sup> filière industrielle. Il représente 6,7% des emplois industriels (220 000 emplois, 3000 entreprises), pour un chiffre d'affaires de 47.5 milliards d'euros.

La construction des EPR, puis des réacteurs du futur (génération IV) participe au dynamisme de la filière, qui s'inscrit dans le temps long, où les compétences pluridisciplinaires sont essentielles.

Cette conférence a ainsi également permis de mettre en avant les défis majeurs qui concernent le renouvellement des compétences et l'attractivité des métiers scientifiques et techniques.

Certains besoins, en particulier dans des métiers à haut niveau de technicité, pourraient être partiellement couverts par le recours à l'intelligence artificielle.



### 2.2.2. Introduction à l'IA d'hier, d'aujourd'hui et de demain

Par Stéphane CANU, Professeur à l'INSA de Rouen Normandie, Chercheur au LITIS, Chargé de mission IA au MESR

Les fondements de l'intelligence artificielle datent des années 1950', mais faute de technologie mature, l'intérêt ne s'est renouvelé que dans les années 1980'.

L'apprentissage par les machines (1997 : *Deep Blue* de IBM), puis l'apprentissage profond (2016 : *AlphaGo*) ont été les prémisses de l'intelligence artificielle générative, qui connaît aujourd'hui son âge d'or !



L'intelligence artificielle générative repose sur l'association de mots (ou *tokens*) à des tables de probabilité, dont chaque élément représente un niveau de vraisemblance avec un critère. Projetés dans un espace multidimensionnel, ces *tokens* se trouvent alors regroupés par champs lexicaux, permettant leur traitement informatique et leur association privilégiée pour générer du texte.

Le *large language model* (LLM) est un algorithme d'apprentissage profond aujourd'hui mature. Il peut effectuer une grande variété de tâches de traitement du langage naturel, ce qui lui permet d'ores et déjà de dialoguer ou anticiper. Tous

les moteurs ne se valent toutefois pas et plusieurs critères peuvent être utilisés pour choisir le plus approprié à un usage : propriétaire ou open source, générique ou spécialisé, local ou en ligne, etc.

Les LLM sont en amélioration continue. Celle-ci repose notamment sur la gestion des flux et l'expérience utilisateur. Pour en tirer le meilleur profit, il convient d'une part d'affiner le *prompt* qui permet de l'interroger (il existe pour cela des guides ou des formations), d'autre part de veiller à l'usage de nos données si le choix du moteur LLM s'est porté sur une solution non locale. Mais les pistes d'amélioration reposent aussi sur de l'optimisation d'infrastructures et d'exploitation afin de rendre ces systèmes plus sobres en énergies, véritable enjeu écologique et sociétal.

APPYLEARNY.FR v. 02/03/25 Yvan DEMUMIEUX TOP Fonctions	ChatGPT	Mistral	Claude	Gemini	Perplexity	Grok	DeepSeek	Qwen
Société	OpenAI	Mistral	Anthropic	Google	Perplexity	xAI	DeepSeek	Alibaba
Modèles LLM de référence	o3 / 4.5 Orion	Large 2 / Pixtral	Sonnet 3.7	2.0 Pro	Sonar/Llama 3.3	3	V3 / R1	2.5 Max
Accès aux modèles de pointe	20 ou 200\$/m	15 ou 20€/m	20 ou 30\$/m	21,99 €/m	19,99 \$/m	30 à 40 \$/m	✓ Gratuit	✓ Gratuit
Open Source (weights)	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓
Fenêtre de contexte (tokens)	200 K	128 K	200 K	1000 K	128 K	128 K	128 K	32 K / 128 K
Taille (paramètres, Milliards)	XL > 150	L : 123	XL ≈ 300	M : 20 à 70	M : 70	XXL : 2700	XL : 671	M : 32 > 405
Recherche web approfondie et citations des sources	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Live données en temps réel	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓
Canvas édition en ligne	Payant	✓	Limité	✗	✗	✗	✗	✗
Génération d'images	✓ (Dall-E3)	✓ (Flux Pro)	✗	✓ (Imagen-3)	Payant (Flux)	✓ (Aurora)	✗	✓
Analyse d'image / document	✓	✓	✓	✓	✗ / ✓	✓	✓	✓
Assistants personnalisés	« GPTs » Payant	« Agent » Payant	« Projet » Payant	« Gems » Payant	✗	✗	✗	✗
Agent avec actions	✓ «Task Operator»	✗	✓ Computer use	✓ « Gemini Live »	✓ Mobile	✗	✗	✗
Interpréteur de code	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Personnalisation, mémoires	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗
Application mobile	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗
Rapidité (tokens/sec.)	166	1100	70	168	1200	?	58	?
Performances / classement Benchmark Chatbot Arena	3	7	6	2	Non classé	1	4	5
Taux d'hallucinations (modèle Hughes de Vectara)	o3 mini high : 0.8 % o1 mini : 1.4 % GPT 4o : 1.5 %	Small3 : 3.1 % Large2 : 4.1 % Pixtral : 6.6 %	3-5-sonnet: 4.6 % 3-5-haiku : 4.9 % 3-opus : 10.1 %	2.0 Flash 001 : 0.7 % 2.0 Pro Exp : 0.8 % 1.5 Flash 002 : 3.4 %	Non classé	Non classé	V3 : 3.9 %	2.5 Max : 2.9 % 2.5 32B : 3.0 % 2.5 72B : 4.2 %
Protection / stockage utilisation des données respect RGPD en ligne	☆☆/5 Confidentialité renforcée en version entreprise	☆☆☆☆/5 Meilleure compatibilité RGPD même en gratuit	☆☆☆☆/5 Confidentialité identique pour tous	☆☆☆☆/5 Confidentialité renforcée en version entreprise	☆☆/5 Confidentialité renforcée en version entreprise	☆☆/5 Aucune confidentialité	☆☆/5 Aucune confidentialité sauf si hébergé en local	☆☆/5 Aucune confidentialité sauf si hébergé en local
Impact énergétique estimé (Énergie Wh / CO2 émis)	B 16 Wh / 10g	A 9 Wh / 6g	G 81 Wh / 49g	A 6 Wh / 4g	Non testé	Non testé	C V3 24 Wh / 14g	A 5 Wh / 3g
Avantages	Performances toujours en top 3, fonctions variées même en gratuit, GPTs personnalisés nombreux, interface intuitive, options de personnalisation avancées, mises à jour fréquentes, formats fichiers variés. Analyse « Deepsearch » forte.	Open Source, respect de la vie privée, rapide et performant, traite des conversations complexes et ambiguës, cite ses sources, efficace sur tableaux Excel. Images meilleures que Dall-E3 Accords avec AFP, Free, Orange...	Style rédactionnel moins robotique, plus naturel, interface utilisateur épurée intuitive, développé avec éthique, sécurité des utilisateurs.	Multimodalité (texte, vidéo, liens), traite de grandes quantités d'infos (1 Millions de tokens), intégration poussée avec les services Google et le moteur de recherche. Google Studio AI gratuit. Économie en énergie	Excellent pour la recherche d'infos récentes sur le web et l'agrégation de sources citées avec réponses précises synthétiques + assistant vocal smartphone Android	Bon pour résoudre des problèmes complexes en mathématique, sciences et codage, avec des réponses logiques et nuancées, rapide, images de qualité, photoréalistes, avec de bons détails. Relié à X.	Open Source, gratuit, rapide, bien classé face aux modèles open source et propriétaires, excelle en mathématiques, code et raisonnement créatif, économe en énergie	Meilleure IA open source, outil polyvalent et puissant, gratuit, Capacités multimodales : images et vidéos, excelle dans la recherche d'info sur internet, Économe en énergie
Inconvénients	Surcharges serveur occasionnelles, préoccupations sur la sécurité, faible quota d'usage en gratuit surtout après-midi quand les USA se réveillent, 200\$ pour avoir le top, fonctions réservées aux USA	Actionnaires majoritaires internationaux non pas FR/UE, 20% Open 80% sous licence propriétaire, performances en benchmark hors top 10, refus de signer le pacte de l'IA de l'UE	Pas de recherche web, surtout sur mobile, infos bloquées à avril 2024, Manque de fonctionnalités multimodales, Manque de pouvoir joindre plus de fichiers, plus volumineux	Réponses parfois imprécises, barrières restrictives censures élevées, Interface moins intuitive, rudimentaire dans Gmail et Gdrive	Moins adapté pour le contenu créatif, une rédaction plutôt formelle, voire robotique, souvent trop courtes. Manque de recherche multilingue. Peu multimodal, peu personnalisable	Limité dans la mémorisation des interactions passées, comparé à des concurrents comme ChatGPT. Prix injustifié à 40 \$ par mois pour X Premium+ sans fonction spéciale	Manque de capacités multimédia et de polyvalence, faible en connaissances factuelles, défis éthiques et biais ou censures politiques chinoises, pacte de l'IA de l'UE non signé	Censure, biais et limite la génération d'images de contenus politiques sensibles, VPN obligatoire pour obtenir toutes les fonctions, bugs dans divers tests, pacte de l'IA de l'UE non signé

Mise à jour : mars 2025

L'intelligence artificielle présente également de forts impacts transformateurs sur divers secteurs, notamment l'industrie nucléaire. Preuve en est de l'émergence de publications scientifiques de plus en plus courantes faisant état de l'utilisation de l'intelligence artificielle appliquée aux technologies nucléaires avancées. Même, du fait de leur capacité prédictive, les LLM montrent des capacités

impressionnantes, par exemple dans la génération automatique de texte et de code informatique. Ces nouvelles techniques entraînent des conséquences à long terme, y compris pour la recherche scientifique : en physique fondamentale ou pour la conception de nouveaux matériaux par exemple.

L'intelligence artificielle générative souffre de plusieurs biais éthiques ou d'alignement, d'objectifs, de données ou d'usages. Ses perspectives futures sont toutefois immenses. Elles reposent notamment sur l'apprentissage non supervisé et la robotique, tendances émergentes de l'intelligence artificielle qui pourraient continuer à révolutionner les services et les opérations dans l'industrie nucléaire.

### 2.2.3. L'IA : Accélérateur d'Innovation Scientifique

Par Frédéric JURIE, Professeur à l'Université de Caen Normandie, membre du GREYC

L'intelligence artificielle est en train de bouleverser la méthode scientifique traditionnelle, offrant des capacités computationnelles et analytiques sans précédent qui accélèrent et enrichissent le processus de découverte dans de nombreux domaines. Des algorithmes sophistiqués de *machine learning* et de *deep learning* permettent désormais d'analyser des volumes massifs de données, de générer des hypothèses complexes, de prédire des résultats expérimentaux et même de concevoir des protocoles de recherche innovants.

Le besoin d'une innovation plus rapide est particulièrement urgent dans le domaine de l'énergie nucléaire, pour relever les défis de conception de réacteurs, d'optimisation du cycle du combustible ou de gestion efficace des déchets.

Ainsi, le rapport « *Advanced Research Directions on AI for Science, Energy, and Security* » du département américain de l'énergie relève les opportunités suivantes :

- **Simulations Accélérées** : Utiliser l'intelligence artificielle pour créer des "modèles de substitution" rapides et précis, remplaçant les simulations traditionnelles chronophages, par exemple pour tester de nouveaux matériaux pour le gainage du combustible sans expériences physiques coûteuses ni longs temps de calcul.
- **Conception de Matériaux Avancée** : Employer l'intelligence artificielle pour la "conception inverse" afin d'identifier rapidement les matériaux ayant des propriétés spécifiques et un comportement optimaux, par exemple pour découvrir de nouveaux matériaux pour des composants de réacteur améliorés ou un meilleur confinement des déchets.
- **Logiciels Robustes et Sécurisés** : Développer l'intelligence artificielle pour créer des logiciels plus fiables et sécurisés pour les infrastructures nucléaires critiques afin par exemple de réduire les temps d'arrêt et augmenter la sécurité grâce à des logiciels de surveillance robustes.
- **Expériences Révolutionnées** : Automatiser et optimiser les expériences avec l'intelligence artificielle pour accélérer le rythme de la recherche et du développement, par exemple par le déploiement de laboratoires robotisés pour des tests à haut débit de nouveaux matériaux pour des applications nucléaires.
- **Contrôle de Systèmes Complexes** : Utiliser l'intelligence artificielle pour la conception, la prédiction et le contrôle de systèmes non linéaires et interactifs. Par exemple : Optimiser

le réseau électrique en prédisant la charge des centrales nucléaires, ou en stabilisant le plasma de fusion.

- **Débloquer les Connaissances** : Tirer parti des "modèles de fondation" de l'intelligence artificielle pour intégrer les connaissances scientifiques existantes et accélérer la découverte. Cela pourrait par exemple conduire à un système d'intelligence artificielle qui agit comme un "super-scientifique" en identifiant des liens nouveaux et inattendus dans de grands ensembles de données scientifiques.

Notons ici qu'il existe deux approches principales de l'intelligence artificielle :

- **L'intelligence artificielle symbolique** (basée sur les connaissances), qui utilise des connaissances et des règles explicitement définies pour la résolution de problèmes.
  - ✓ Avantages : Résultats clairs, comportements prévisibles.
  - ✗ Inconvénients : Difficile d'encoder des tâches complexes avec des règles explicites.
- **L'intelligence artificielle axée sur les données** (apprentissage automatique) qui apprend des modèles à partir des données.
  - ✓ Avantages : Pas besoin de programmer manuellement des règles, peut détecter des modèles non évidents.
  - ✗ Inconvénients : Nécessite de grands ensembles de données, peut être opaque, exige de la prudence.

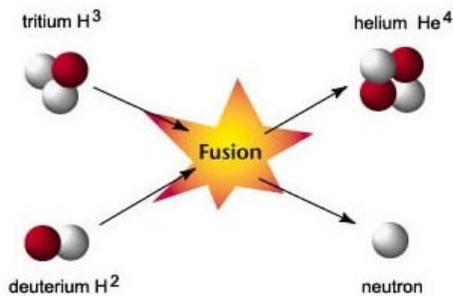
Depuis 2015, un modèle d'intérêt particulier pour les sciences a fait son apparition, il s'agit des réseaux neuronaux informés par la physique (PINN). Les PINN utilisent les lois de la physique pour guider l'apprentissage, garantissant ainsi la robustesse et la précision physique. En utilisant des connaissances physiques préalables, les modèles peuvent extrapoler plus précisément en dehors de la région d'entraînement. Ils sont ainsi capables d'apprendre avec des données limitées et demeurent cohérents avec les lois de la physique. Les PINN sont un pont entre l'intelligence artificielle axée sur les données et la physique, offrant une approche robuste et scientifiquement éclairée des problèmes complexes.

Autre évolution récente, les modèles de fondation (depuis 2022), dont certains s'appuient sur la science ouverte, à l'image de AuroraGPT, un modèle créé par le Laboratoire National d'Argonne qui agit comme un assistant scientifique.

La méthode scientifique est continuellement améliorée par les nouvelles technologies, et l'intelligence artificielle ajoute une autre étape importante. Elle n'est pas seulement un ensemble d'outils mais un changement fondamental dans la façon dont nous abordons l'exploration scientifique et l'innovation. Afin d'en tirer le meilleur profit, il convient de rester focalisé sur les besoins réels (produits, services, etc.) et non sur la technologie sous-jacente à l'intelligence artificielle en tant que telle, bien que la comprendre permette de mieux en appréhender les forces et les faiblesses.

## 2.2.4. Énergie de Fusion et IA : quelles applications ?

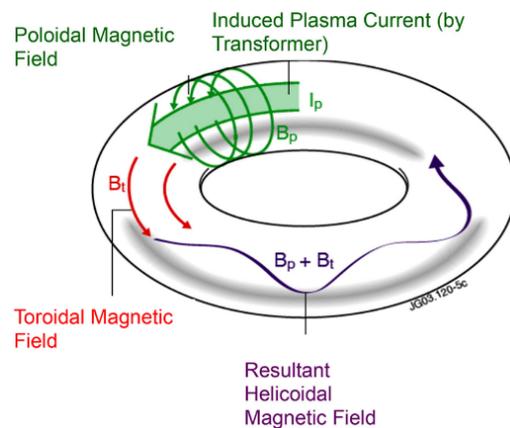
Par Didier MAZON, Adjoint chef de Service de Physique SPPF au CEA IRFM



L'énergie de fusion fait l'objet d'un grand nombre de recherches publiques et privées dans le monde avec en fer de lance le tokamak ITER qui est en construction dans le sud de la France à Cadarache.

La fusion nucléaire entraîne en effet la libération d'une grande quantité d'énergie, présente des réserves de carburant pratiquement illimitées et un impact environnemental très faible (sans carbone).

Elle se produit toutefois dans un plasma à très haute température ( $\sim 10^8$  °C) au contact duquel aucun matériau ne résiste. Un confinement par un champ magnétique hélicoïdal s'avère alors une solution pour contenir le plasma sans contact avec ses parois. C'est la vertu du tokamak, à l'image de la collaboration ITER, projet de recherche visant à préparer la prochaine étape d'une centrale électrique fusion, qui compte sept membres Internationaux (Europe, Chine, Japon, Russie, USA, Corée, Inde).



L'intelligence artificielle utilisée de manière routinière est un domaine très récent dans le paysage de la fusion (moins de 10 ans). Des équipes internationales commencent à se structurer sur le sujet avec comme intérêts identifiés de :

- Permettre une surveillance des systèmes,
- Produire des données de manière intégrées,
- Estimer des barres d'erreurs
- Contrôler les performances du plasma

Mais tout ceci passe bien entendu par la qualité des données mesurées, la vitesse d'exécution et la validation des algorithmes.

L'utilisation de l'intelligence artificielle permet d'envisager des applications en temps réel afin de contrôler plus activement le plasma et sont de plus en plus populaires pour la fusion. Elles suscitent un grand intérêt notamment pour la protection machine en temps réel et l'amélioration des performances et de la stabilité du plasma. D'autres domaines d'investigations sont en préparation, à l'image de la détection d'anomalies dans les signaux mesurés, l'augmentation de la vitesse de code de modélisations gyrocinétiques 3D par réseau de neurones ou l'intégration de données (production d'une quantité physique comme la densité ou la température) à partir d'un ensemble de mesures, directes, indirectes, voire partielles.

## 2.3. Solutions proposées par des start-ups et jeunes entreprises

### 2.3.1. Conscience Robotics – Iliès ZAOUÏ

Spécialisée dans la conception et le développement de technologies avancées en robotique et en intelligence artificielle, Conscience Robotics travaille avec les industriels pour robotiser et optimiser tout type d'activités.

### 2.3.2. FastPoint – Vincent AUVRAY, Nicolas LECONTE

Experte en conception de systèmes embarqués innovants, FastPoint a notamment développé une solution de prévention des accidents assistée par intelligence artificielle qui s'adapte à divers environnements, qu'ils soient industriels, logistiques ou sur les chantiers, visant à progressivement approcher le zéro accident dans l'industrie.

### 2.3.3. Devolis – David MOREAU, Maxime MICHELIER

Devolis présente une capacité d'accompagnement à la mise en place de cas d'usages de l'intelligence artificielle générative dans l'entreprise, à l'image de la gestion de rapports d'intervention de maintenance augmentés par l'intelligence artificielle, dans un cadre d'excellence opérationnelle, visant à accroître la productivité et l'efficacité.

## 2.4. Tables rondes

### 2.4.1. L'intégration de l'intelligence artificielle chez les exploitants industriels

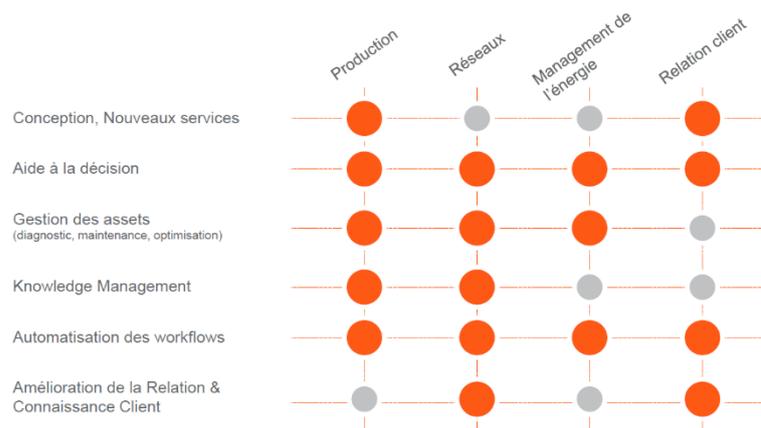
Participants :

- **Thitreswar BEEHARRY**, Responsable innovation et R&D des CMN
- **Eric HAZANE**, Délégué régional à la sécurité numérique pour la Normandie (ANSSI)
- **Christophe LECLERC**, Data Science / DataOfficer de la BU Recyclage d'Orano
- **David RAVEAU**, Responsable du département Innovation de Naval Group
- **Luigi SERIO**, Chef de projet en Intelligence Artificielle au CERN
- **Virginie THIÉBAUT**, Cheffe du département PRISME d'EDF R&D

En introduction de cette table ronde, Virginie THIÉBAUT a rappelé les enjeux de l'intelligence artificielle chez EDF, laquelle concerne notamment la production, les réseaux ou le management de l'énergie, suivant une hiérarchie d'impact qui peut être résumée comme par la figure ci-contre.

Pour le management de l'énergie, dans un contexte de développement d'un grand nombre d'actifs de production renouvelable et une demande de plus en plus variable et pilotable, des outils de prévision séquentiels et adaptatifs sont développés pour accroître les performances prédictives et gagner en efficacité.

Au niveau des réseaux, Enedis est engagé à rétablir 90% des clients en 48h en cas d'incident climatique majeur. Pour mieux gérer les crises climatiques, l'outil Windy, basé sur des modèles de Cox, s'appuie sur les prévisions météorologiques de Météo France pour anticiper les incidents sur les lignes électriques aériennes moyenne-tension provoqués par les tempêtes de vent.



Pour la production nucléaire, enfin, l'intelligence artificielle est principalement utilisée en appui aux ingénieurs et opérateurs qui gardent dans tous les cas le contrôle et la décision finale. Elle vise à quatre grands objectifs que sont la performance de l'exploitation, la durée de fonctionnement des équipements, l'optimisation des chantiers et la productivité de l'ingénierie. Afin de préserver un niveau de sûreté au moins équivalent (voire plus élevé dans de nombreux cas) et le contrôle des opérations par l'humain avec une reprise manuelle possible :

- L'intelligence artificielle n'assure jamais le pilotage de systèmes critiques ;
- En exploitation, l'intelligence artificielle fournit une aide, en sus des procédures qualifiées d'exploitation. Elle facilite le traitement de l'information recueillie en maintenance mais l'opérateur a toujours la décision ;
- En conception, l'intelligence artificielle ne se substitue pas aux codes de simulation qualifiés sur lesquels repose la démonstration de sûreté. Elle permet en revanche de préparer des jeux de données et de faire une préanalyse par l'identification de cas critiques.

*Cette limitation de l'usage de l'intelligence artificielle en appui opérationnel, sans se substituer par exemple à des démonstrations de sûreté par des procédures qualifiées ou à la responsabilité d'un décideur a été le message commun des intervenants de cette table ronde. Les échanges qui s'en sont suivis sont retranscrits ici, regroupés par thématiques.*

**Aujourd'hui, un des enjeux de l'intelligence artificielle est l'accès à des données fiables, leur confidentialité et la sécurité des données et des algorithmes. Les algorithmes sont entraînés sur des données et il convient de s'assurer que leur véracité peut être prouvée.**

[Luigi SERIO] Le département des technologies du CERN est un terrain très propice au développement de l'intelligence artificielle du fait de ses infrastructures très complexes difficilement analysables ou sécables à taille humaine, de la production d'un grand volume de données, par ailleurs open-source, et de très importantes puissances de calcul. L'intelligence artificielle est implémentée dans les domaines de filtrage des données pour limiter leur quantité ou dans l'analyse des images pour comprendre et découvrir d'éventuelles nouvelles particules. Elle est aussi utilisée pour la partie opérationnelle sur ces systèmes complexes, afin de détecter ou anticiper des défaillances. Un algorithme du CERN permet par exemple de reconstruire la chaîne d'événements qui a conduit à une défaillance, ce qui aide l'opérateur à trouver plus vite la cause et résoudre le problème, bien que ces algorithmes demeurent seulement un support aux opérateurs.

Force est par ailleurs de constater que les données générées et publiques ne sont déjà plus suffisantes pour entraîner les modèles de langage, ce qui signifie qu'ils devraient commencer à perdre en performances. De plus, ils nécessitent de plus en plus de capacités de calcul, que de nouvelles centrales nucléaires viennent à alimenter. Pour s'extraire de cette spirale, les développements futurs ont besoin de puissances de calcul plus faibles, de recourir à moins de données et à des algorithmes moins complexes.

[[Threswar BEEHARRY](#)] Chez CMN, l'intelligence artificielle est utilisée comme assistant pour faciliter la communication générale dans le groupe ou établir et optimiser le planning.

[[Eric HAZANE](#)] Tout le monde a conscience des enjeux de l'intelligence artificielle et la France et l'Europe ont des atouts à faire valoir, indépendamment des sommes astronomiques qui peuvent être déployées dans le Monde : nous avons une stratégie nationale en matière d'intelligence artificielle qui couvrait 2017 à 2025, actuellement en renouvellement, le 31 janvier 2025 a été créé un institut national pour l'évaluation et la sécurité de l'intelligence artificielle.

La perspective de l'ANSSI en matière de cybersécurité repose sur la protection des systèmes experts contre du détournement ou de l'exfiltration de données menées par des attaques adverses.

[[David RAVEAU](#)] Chez Naval Group, deux principaux enjeux sont identifiés :

1. La gestion de la data, pierre angulaire de l'intelligence artificielle, renforcée par le fait de programmes nationaux avec des clients export. La maîtrise des données et des savoirs est essentielle afin d'éviter qu'ils ne se retrouvent diffusés ou divulgués, même de façon intentionnelle, au risque de perdre une avancée technologique ou la valeur de notre patrimoine industriel.
2. La sûreté des installations dans des environnements où le principe de précaution domine et où l'accident est interdit. Dans ce contexte, la vérification et la certification de modèles d'intelligence artificielle sur des infrastructures dédiées permettraient une utilisation sécurisée de ces outils.

[[Christophe LECLERC](#)] Sur le site d'Orano La Hague, et pour l'ensemble du groupe, de grandes orientations ont été décidées, avec une approche incitative visant à faire des sujets d'intelligence artificielle des sujets industriels. Si les LLM ont largement investis les sujets RH, formation ou juridique par l'émergence d'agents conversationnels, ce ne sont pas encore des sujets prégnants. En revanche, la gouvernance de la donnée a, dès le départ, été identifiée comme la richesse industrielle de l'entreprise, tant en termes de qualité que de protection. En effet, quelles que soient la durée ou la date auxquelles elle est mobilisée, les fonctions ou les applications peuvent varier, mais la donnée demeure normalement toujours la même.

Le recours à l'intelligence artificielle reste quant à lui une aide à la conduite, mais n'intervient pas directement dans le procédé. Elle est utilisée en back office :

- Pour définir des seuils ou des calculs, mis à disposition au près des opérateurs,
- Aider à la redéfinition d'asservissements conduisant à des gains à la fois en performance, en qualité et en production,
- Faciliter l'exploitation de documents dactylographiés ou de schémas annotés contribuant aux enjeux de pérennité des installations.

## **La diffusion des outils d'intelligence artificielle dans les entreprises repose aussi sur l'acculturation du personnel, en termes d'usage, de sécurité et de sûreté.**

[[Threswar BEEHARRY](#)] Chez CMN, c'est la culture de l'innovation en général qui est mise à l'honneur, pas seulement le sujet de l'intelligence artificielle, mais l'acculturation à l'intelligence artificielle a commencé par les dirigeants, à travers une conférence visant à expliquer les potentiels de l'intelligence artificielle. Elle a permis de définir une feuille de route. Du côté du personnel, la stratégie a consisté en des démonstrations d'intérêt, par exemple sur de la veille technique où l'intelligence artificielle a permis de créer des infolettres mensuelles d'articles scientifiques et brevets pertinents dans les domaines d'activité de l'entreprise.

[[Eric HAZANE](#)] À destination des PME et TPE, l'ANSSI est en cours de transposition en droit français de la directive européenne NIS 2 de sorte qu'un certain nombre d'acteurs, notamment économiques, soient tenus de se protéger des risques majeurs identifiés en termes de cyber. En effet, dans un contexte de risques croissants, d'incertitude géopolitique important, ces acteurs font l'objet de marques d'intérêt par des agresseurs malveillants. Les prescriptions prises par l'Etat et l'Europe pour protéger le patrimoine industriel seront à caractère contraignant et l'opportunité pour les entreprises de se protéger vis-à-vis des risques cyber liés à l'intelligence artificielle, particulièrement bavarde.

La France dispose d'un socle académique extrêmement fort avec une recherche mathématique d'excellence. Ce qui aurait tendance à pêcher, c'est ce facteur d'échelle de passage à l'industrialisation, lequel serait peut-être à venir de l'Union européenne au regard des moyens financiers qui nous permettront d'être à la hauteur de nos ambitions, et de faire face à la concurrence et nos adversaires.

## **L'intelligence artificielle ne peut être un vecteur de transformation des services à l'industrie nucléaire sans transversalité et partage de la donnée entre les exploitants industriels et leurs sous-traitants.**

[[Frédéric NAGA – Technodoc](#)] Si les sous-traitants peuvent être perçus comme une faille de sécurité pour les exploitants, ils doivent toutefois faire partie de la stratégie globale sur l'intelligence artificielle et se doter d'outils performants, alimentés par la donnée : bonnes pratiques, plans, schémas, notes techniques, bureaux d'études, etc.

La problématique de l'intelligence artificielle passe par la valorisation de bien immatériels, la data, dont le modèle économique reste à établir entre industriels et sous-traitants afin de partager des données certifiées.

[[David RAVEAU](#)] Pour ce qui est de la propriété intellectuelle en général, la question de sa valorisation est traitée par des considérations juridiques. A l'avenir, les modèles de certification que préparent l'INRIA et le LNE pourraient au moins partiellement répondre à la question de la propriété, au même titre qu'on certifie des logiciels ou des applications de CFD.

Chez Naval Group, si la question de l'intelligence artificielle embarquée dans les produits (reconnaissance de vision par exemple) fait l'objet de peu d'ambiguïté, conscience est prise en revanche de la plus grande versatilité de la donnée pour le développement d'outils recourant à l'intelligence artificielle pour de l'aide à la conception, du démantèlement, de la maintenance, etc.

[[Virginie THIÉBAUT](#)] Chez EDF, existent des démarches appelées entreprises étendues qui concernent les sous-traitants, permettant des échanges simplifiés avec les partenaires.

[Christophe LECLERC] Chez Orano, les sous-traitants peuvent bénéficier de comptes pour se connecter à leur système d'information et utiliser les données de l'exploitant. Leur attribution est toutefois soumise à un plan d'action sécurité, relativement exigeant, qui contribue aussi à filtrer les candidats qui ont effectivement les capacités à répondre aux exigences de sécurité imposées.

**Dans un secteur industriel, celui du nucléaire, où la sûreté et la sécurité sont les principales préoccupations, souvent synonymes de lenteur, l'intelligence artificielle porte un coup d'accélérateur qui peut nécessiter de la précaution contre un risque d'emballement.**

[Christophe LECLERC] L'intelligence artificielle contribue à dynamiser l'expérimentation, mais ne contribue pas à accroître la capacité des installations. La sûreté nucléaire, au regard des applications faites aujourd'hui de l'intelligence artificielle, n'est pas touchée.

[Virginie THIÉBAUT] L'intelligence artificielle est un outil au recueil de données par exemple, mais les fondamentaux restent les mêmes et il n'y a pas de changement dans la façon de faire, pour les démonstrations de sûreté en l'occurrence.

[Luigi SERIO] Pour des applications industrielles qui fonctionnent bien, l'implémentation d'outils d'intelligence artificielle est à aborder de façon beaucoup plus lente, mais pour élaborer de nouvelles solutions, ça peut être la seule façon de le faire.

[David RAVEAU] L'intelligence artificielle, utilisée pour l'optimisation de plannings, permet d'identifier des vecteurs de réussite par analyse de projets passés. Elle est vitale pour la compétitivité, en termes d'approvisionnements, de gestion des contraintes, etc.

**Le recours à l'intelligence artificielle n'est pas toujours une réponse adaptée aux problématiques de l'entreprise. L'animation de l'innovation, qu'elle intègre ou non de telles solutions, est au cœur des stratégies de la plupart des entreprises. Elle repose sur une mise à disposition de moyens de tests et de la communication auprès des collaborateurs.**

[David RAVEAU] Chez Naval Group, une gouvernance a été mise en place depuis quelques années pour développer les sujets liés à l'intelligence artificielle sur les produits et qui pilote l'ensemble des Preuves de Concept (POC) et des Preuves de Valeur (POV) de la partie process. Des cas d'usage sont déjà réalisés. En sus, un agent conversationnel (Mistral.AI) est accessible à l'ensemble des collaborateurs et un réseau d'open innovation complète ces dispositions, offrant un accès gratuit aux collaborateurs, à des PC hors réseau pour essayer, tester, comprendre tout en garantissant la sécurité des données.

[Threswar BEEHARRY] A CMN, de manière générale, le process de l'innovation a débuté par la proposition de boîtes à problématiques. Les réflexions sur leur traitement conduit, ou non, au recours à l'intelligence artificielle, par exemple sur des questions de sécurité conventionnelle ou de veille technologique. Cette approche est le principal vecteur d'animation de l'innovation chez CMN aujourd'hui.

[Christophe LECLERC] Chez Orano, il y a un représentant data dans chaque métier qui joue le rôle de collecteur de besoins. Ceux-ci font l'objet d'un arbitrage par un comité IA à l'échelle du groupe, censé représenter l'ensemble des besoins des métiers. Ces réseaux permettent de remonter des sujets, lesquels sont systématiquement décrits dans des fiches pour tracer les solutions et les retours d'expérience, qu'ils soient concluants ou non et quel que soit le niveau de maturité du projet.

[Virginie THIÉBAUT] Côté EDF, la R&D n'a pas vocation à régir l'application de l'intelligence artificielle dans l'entreprise. Tout à chacun a accès à la solution Microsoft copilot de sorte que les agents qui souhaitent tester des solutions les expérimentent facilement de manière individuelle. La R&D est sollicitée de manière plus spécifique, sur des technologies ou des applications pour lesquelles les unités rencontrent des verrous.

Des *data lakes*, des usines d'APP et un portail IA génératif permettent toutefois de gérer et organiser les données. Une structure de veille sur l'intelligence artificielle générative contribue aussi à animer ces questions, par la R&D.

[Luigi SERIO] On s'interroge parfois sur le moment où l'intelligence artificielle sera supérieure à l'intelligence humaine. La question est à poser dans l'autre sens et l'intelligence artificielle n'aura pas de futur si la créativité humaine n'est pas au RDV pour optimiser les algorithmes et rendre réduire les besoins en électricité et en eau des centres de calcul.

## 2.4.2. L'intelligence artificielle pour la détection nucléaire

Participants :

- Florent BOULAY, Physicien mesures nucléaires et fondateur de Radeo
- Antonin VACHERET, Directeur de recherche au LPC Caen
- Sylvain DIDIER-LAURENT, Chef de Projet Direction Technique à TENEO

Les outils d'intelligence artificielle, qui peuvent être qualifiés de génériques, permettent aujourd'hui une automatisation et une simplification significatives des tâches de travail. En revanche, leur application aux problématiques métiers telles que la mesure nucléaire nécessite un travail d'adaptation et de développement considérable.

Cette expertise existe aujourd'hui dans les laboratoires de recherche pour adapter les outils d'intelligence artificielle aux enjeux techniques spécifiques à ces métiers.

Radeo collabore activement avec les laboratoires de recherche, à l'image du LPC Caen, pour intégrer les nouvelles capacités offertes par l'intelligence artificielle dans ses méthodes de bureau d'études en mesures nucléaires. Ainsi, un réseau de neurones inspiré par la physique permet une caractérisation fine et rapide de détecteurs de spectrométrie, avec une évaluation précise des incertitudes. D'autres outils sont en cours de développement chez Radeo pour élaborer un assistant ingénieur virtuel en mesures nucléaires, visant à réduire le nombre de tâches sans valeur ajoutée actuellement réalisées par les ingénieurs.

De même, TENEO développe un modèle d'intelligence artificielle basée sur la reconnaissance d'images pour aider à l'interprétation de défauts dans le cadre du CND. Plusieurs milliers de films de radiogrammes ont déjà été numérisés dans ce cadre, permettant le développement, les tests et la validation d'un modèle d'aide à l'interprétation, dans un contexte en outre où 80 % des radiogrammes ne demandent pas d'attention particulière.

Ces exemples illustrent la capacité de l'intelligence artificielle à optimiser les tâches répétitives et à contribuer à la fiabilité de résultats.

## 3. Conclusions et perspectives

### 3.1. Enseignements tirés de ce forum

L'intelligence artificielle est un ensemble de technologies de rupture porteur de nombreuses potentialités qui a déjà démontré sa valeur pour le système électrique dans son ensemble. Toutefois, dans le secteur nucléaire, elle est positionnée en appui de l'expertise, en levier de l'efficacité opérationnelle, mais sans remettre en cause la responsabilité du décideur ou les exigences de sûreté liées au fonctionnement des procédés.

Le traitement automatique du langage par des modèles de fondation (*LLM : Large Language Model*) a démontré sa formidable capacité à analyser de très grands corpus documentaires, complexes et hétérogènes. Son usage s'est vite démocratisé et ils contribuent déjà à la transformation des services à l'industrie nucléaire !

Les réseaux neuronaux informés par la physique (*PINN : Physics-informed neural networks*) sont quant à eux conçus pour résoudre des tâches d'apprentissage supervisé tout en respectant les lois de la physique. Ils sont plus robustes et précis, en particulier avec des données limitées.

### 3.2. Feuille de route stratégique

En tirant parti de la puissance de l'intelligence artificielle, nous sommes à l'aube de percées scientifiques sans précédent, repoussant les frontières de la science et de la connaissance. L'intelligence artificielle n'est plus un ensemble d'outils isolés, mais un changement fondamental dans la façon dont nous abordons l'exploration scientifique et l'innovation.

Dans ce contexte, la protection des systèmes d'information face aux menaces et ingérences multiples et permanentes doit être une priorité pour assurer leur résilience face à la menace cyber. Elle impose une intelligence artificielle de confiance et souveraine, notamment au travers de Mistral.AI et d'une capacité d'hébergement sécurisé sur le territoire français ou même en local (sans cloud), malgré le coût de telles infrastructures.

L'Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information (ANSSI) invite à suivre [MonEspaceNIS2](https://monespaceNIS2.cyber.gouv.fr)<sup>1</sup> et en particulier ses recommandations de sécurité pour un système d'IA générative et sa publication « Développer la confiance dans l'IA par une approche par les risques cyber » accessibles en ligne.

### 3.3. Aspects réglementaires et éthiques

Les centres de calcul impliquent des consommations importantes en termes d'énergie électrique et de consommation d'eau. Il importe à l'ensemble de la chaîne de valeur d'en faire un usage juste et responsable tout en couvrant un champ étendu de bénéficiaires.

---

<sup>1</sup> <https://monespaceNIS2.cyber.gouv.fr>

## 4. Listes des contributeurs

### Intervenants au forum

NOM	PRÉNOM	SOCIÉTÉ	ADRESSE ÉLECTRONIQUE
AUVRAY	Vincent	FastPoint	vincent.auvray@fast-point.net
BEEHARRY	Thtreswar	CMN	tbeeharry@cmn-cherbourg.com
BOULAY	Florent	Radeo	florent.boulay@radeo.tech
CANU	Stéphane	INSA Rouen	stephane.canu@insa-rouen.fr
CHAPON	Arnaud	Groupe CERAP	achapon@atron.fr
DIDIER-LAURENT	Sylvain	TENEO	sylvain.didier-laurent@teneo.eu
GALICHET	Emmanuelle	CNAM	emmanuelle.galichet@lecnam.net
HAZANE	Eric	ANSSI	normandie@ssi.gouv.fr
JURIE	Frédéric	GREYC	frederic.jurie@unicaen.fr
LEBRETON	Sylvain	Comm'en Scène	sylvainlebreton@commenscene.fr
LECLERC	Christophe	Orano Recyclage	christophe.leclerc1@orano.group
LECONTE	Nicolas	FastPoint	nicolas.leconte@fast-point.net
MAZON	Didier	ITER	didier.mazon@cea.fr
MICHELIER	Maxime	Devolis	maxime.michelier@devolis.com
MOREAU	David	Devolis	david.moreau@devolis.com
QUEMENER	Fabrice	Groupe CERAP	fquemener@cerap.fr
RAVEAU	David	Naval Group	david.raveau@naval-group.com
SERIO	Luigi	CERN	luigi.serio@cern.ch
THIEBAUT	Virginie	EDF	virginie.thiebaut@edf.fr
VACHERET	Antonin	LPC Caen	vacheret@lpccaen.in2p3.fr
VERNON	Josquin	DINN	josquin.vernon@climat-energie.gouv.fr
ZAOUI	Iliès	Conscience Robotics	ilies.zaoui@conscience-robotics.com