











L’apport des Jumeaux Numériques pour la maintenance prédictive chez EDF

Digital Twins : usages, technologies et apports pour la supervision et la conduite de systèmes physiques – COMET-CNES

Haithem ADOUANI
EDF – Division Production Nucléaire

16/10/2026

Être un acteur de l'éthique du groupe



CHARTE ÉTHIQUE GROUPE

Chaque salarié s'engage à traiter de façon responsable les informations qu'il détient dans le cadre de son travail et à respecter les règles de sécurité et de confidentialité, en particulier pour les informations classées C=2 « restreint » ou C=3 « confidentiel »

BONS RÉFLEXES

Rester discret et vigilant dans les lieux publics
Utiliser un disque dur sécurisé par STROMSHIELD sur vos ordinateurs portables

C0 OU INFORMATION « LIBRE »

L'information de niveau C0 n'implique aucune obligation de protection particulière.

C1 OU INFORMATION « INTERNE »

L'information est destinée à être traitée dans un périmètre défini (DPNT, …). Elle peut être partagée avec des externes si l'accès à cette information leur est nécessaire.

C2 OU INFORMATION « RESTREINT »

L'accès de l'information est limité à des personnes ou à un périmètre restreint lié à une activité. Elle peut être partagée avec des externes dès lors que l'accès à cette information leur est nécessaire. Ce partage avec des externes est encadré par une clause de confidentialité et de protection des informations, permettant de garantir l'accès aux données aux seules personnes autorisées. La liste des personnes, ou groupes de personnes autorisées, est mentionnée sur le document. Le C2 est à envoyer par mail « chiffré ». La mention « restreint » est à inscrire sur toutes les pages.

C3 OU INFORMATION « CONFIDENTIEL »

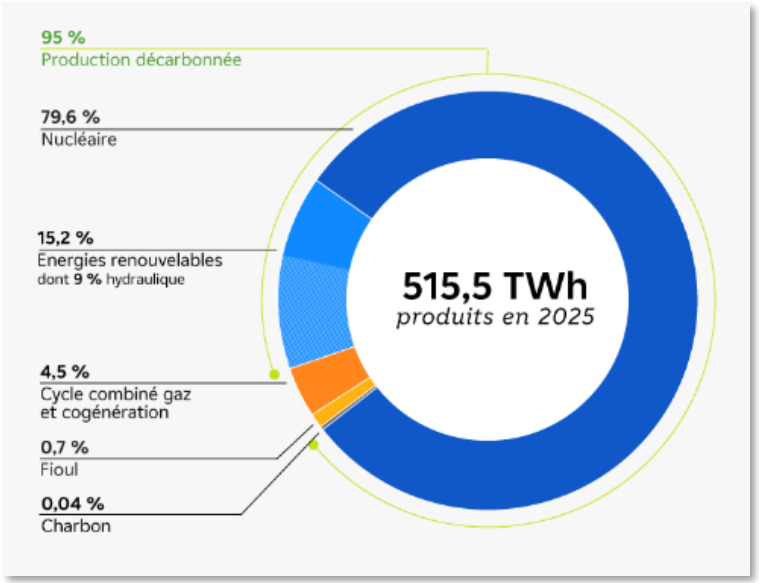
L'accès à l'information est limité à des personnes nominatives en fonction du « besoin d'en connaître ». La rediffusion d'un document confidentiel est soumise à l'accord du rédacteur. Le C3 est à envoyer par mail « chiffré » et le document doit être chiffré par STORMSHIELD permettant de garantir l'accès aux données aux seules personnes autorisées. La mention « confidentiel» est à inscrire sur toutes les pages.

©EDF 2021 – ACCESSIBILITE : EXTERNE
Ce document est la propriété d'EDF - Toute communication, reproduction, publication, même partielle, est interdite sauf autorisation écrite.

1- EDF, PREMIER PRODUCTEUR MONDIAL D'ÉLECTRICITÉ BAS CARBONE

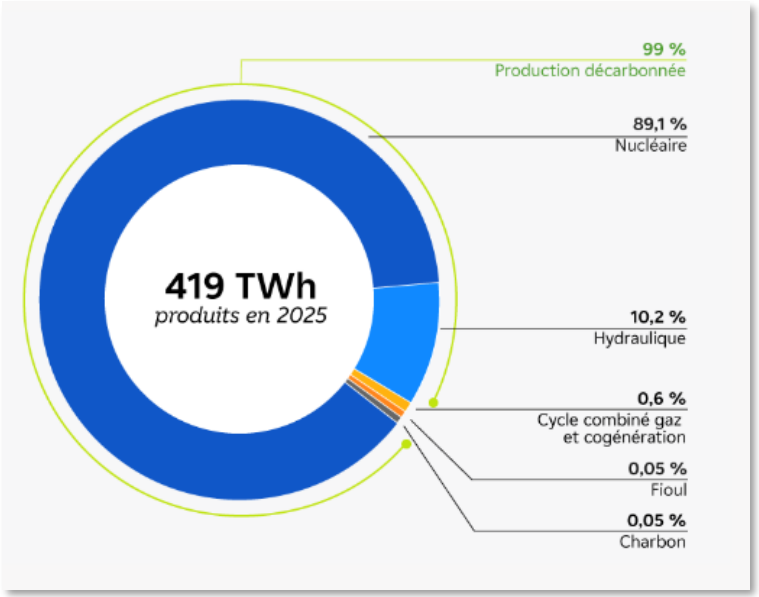


EDF : mix électrique dans le monde



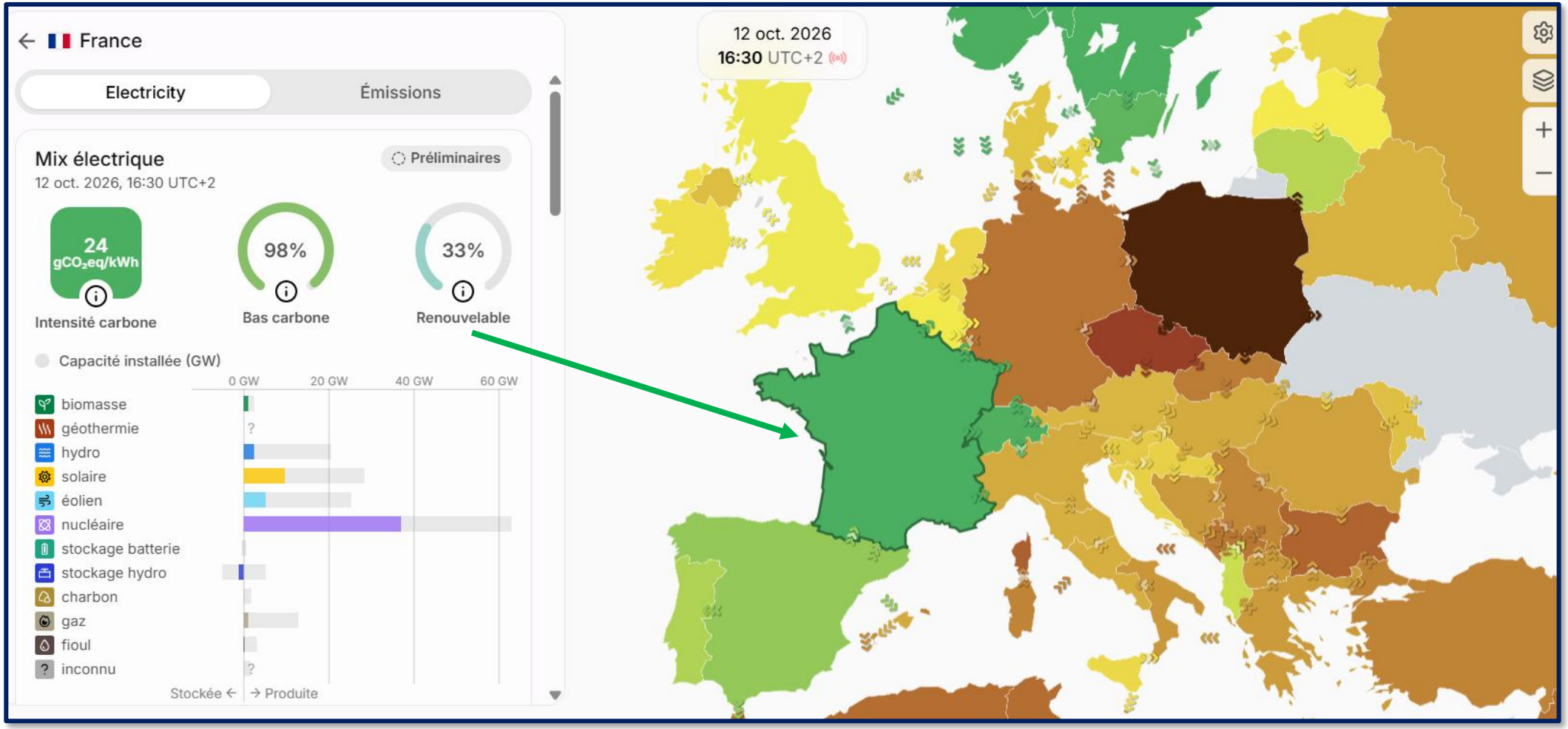
- 57 réacteurs en exploitation
- Capacité totale de 63 GW
- 900 MWe (8 centrales)
- 1300 MWe (8 centrales)
- 1450 MWe (2 centrales)
- 1600 MWe (1 tranche – EPR-FLA3)
- 23 000 salariés à la DPN
- 2 unités d'ingénierie (UNIE et UTO)





EDF : mix électrique en France

1- EDF, PREMIER PRODUCTEUR MONDIAL D'ÉLECTRICITÉ BAS CARBONE



- **EDF : Leader européen et mondial en production d'électricité bas carbone**
- **6 à 14 nouvelles tranches EPR2 (Evolutionary Power Reactors 2) en France**
- **De nouvelles unités EPR dans le monde : Taishan (Chine), Henkley Point C & Sizewell C (Royaume Uni)**

2- HISTOIRE DE LA MAINTENANCE A EDF

Début du développement et du déploiement de l'e-Monitoring chez EDF

1980
- Manuels d'exploitation et d'entretien des fournisseurs

1994
- Optimisation de la maintenance par la fiabilité (OMF)

2002
- Réduction des coûts et des volumes de maintenance

2010
- INPO / AP-913

2022
- Amélioration de la méthode INPO AP-913 en examinant la fiabilité des équipements, systèmes et fonctions

2- E-MONITORING : EVOLUTION DU PROCESSUS

POURQUOI ?

- Anticipation des défaillances pour améliorer la fiabilité et la disponibilité des composants et des systèmes grâce à la surveillance automatique à distance ➔ Condition essentielle pour garantir la sûreté et l'efficacité de la production.
- Promotion de la maintenance conditionnelle pour réduire le volume et les coûts des opérations de maintenance.

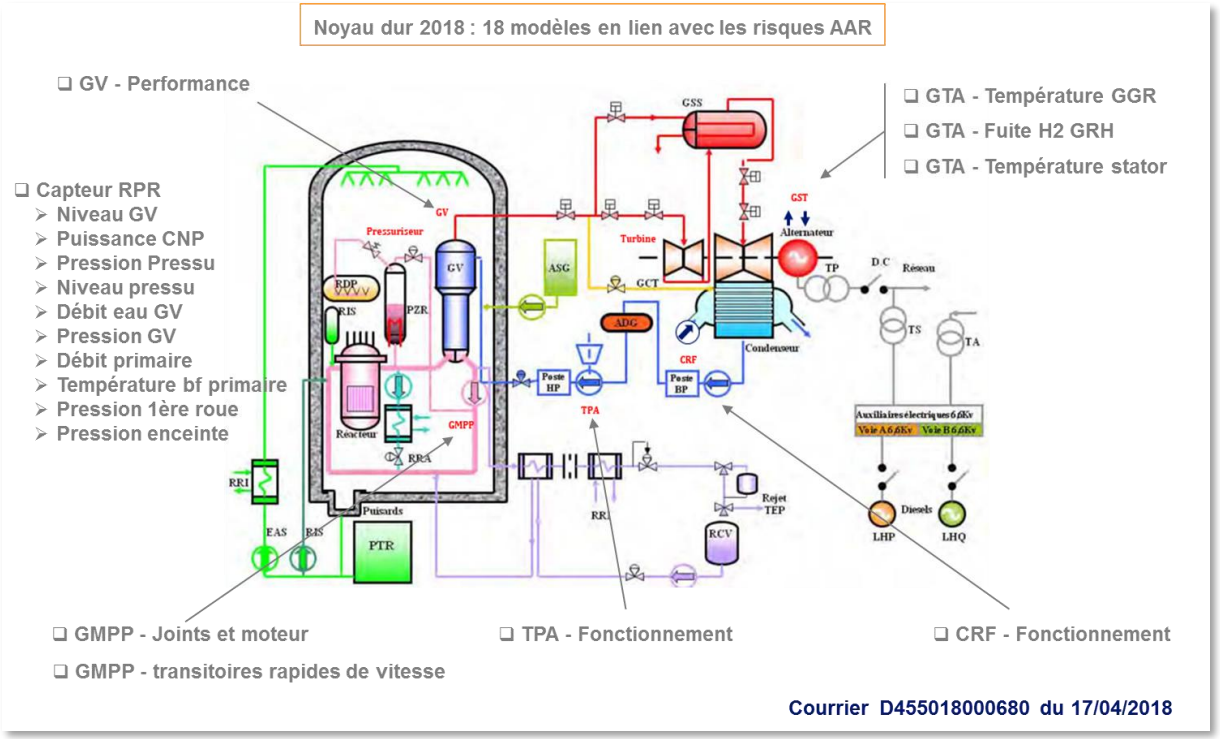


Moyens / Leviers ?

DATA / e-Monitoring

QUEL PERIMETRE ?

- La priorité est accordée aux composants présentant un risque élevé d'arrêt de réacteur en cas de défaillance (projets Noyau Dur de surveillance des composants critiques).
- Le périmètre de surveillance locale est plus étendu (projets de surveillance locale des centrales nucléaires).

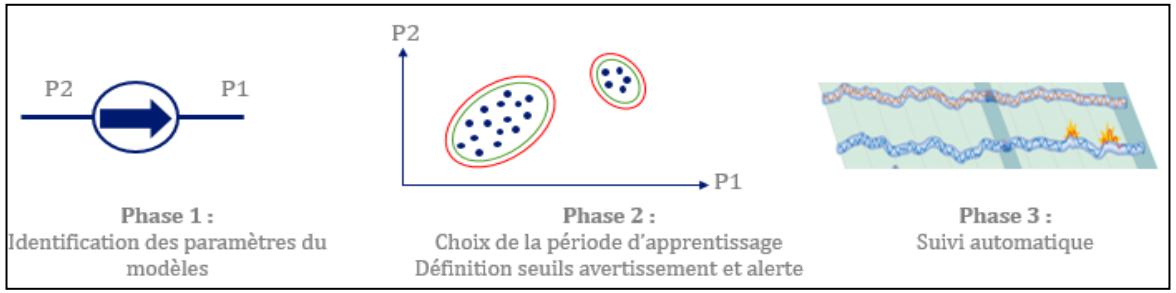


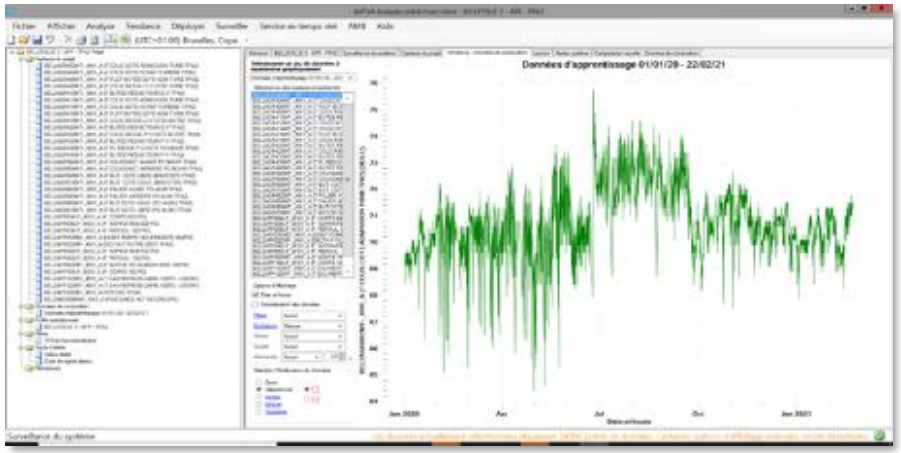
~6000 modèles e-Monitoring au total sur le Parc
~100 000 capteurs fournissant des données de process

3- E-MONITORING : PILOTAGE DU PROCESSUS

COMMENT ?

- Pour une surveillance à distance et en continu, une approche d'analyse de données basée sur les algorithmes de Machine Learning (Clustering) de l'outil AVEVA Predictive Analytics.
  - ✓ Modélisation statistique d'un comportement « sain » du paramètre à surveiller
  - ✓ Définition des seuils d'avertissement et alertes
  - ✓ Suivi automatique de dérives lentes (signaux faibles)





QUELS SONT LES ACTEURS ?

- Les services d'ingénierie de chaque centrale nucléaire
- Une organisation décentralisée de télésurveillance en continu
- Une organisation centralisée pour le pilotage, l'expertise, le diagnostic et le pronostic

	WHO	WHEN	WHAT	Warning
L1	OPERATORS	DAILY 24h/24	Operational monitoring (rapid evolution)	Operating alarms *Supervision tool*
L2	SPECIFIC TEAM	WEEKLY	Trends monitoring (low evolutions)	Precursors *Early detection tool*
L3	EXPERT *(network)*	ON NEED	Expertise Back Office (Diagnosis, Prognosis, Data Technologies, ...)	

~1000 utilisateurs actifs



Ingénieurs ou techniciens systèmes, composants CNPE

- ✓ *Paramètrent les modèles pour le site ;*
- ✓ *Développent les modèles locaux ;*
- ✓ *Réalisent la surveillance.*



Référents CNPE

Point d'entrée site



Cellule e-Monitoring Nationale

- ✓ *Appui outil aux utilisateurs ;*
- ✓ *Animation des correspondants e-Monitoring ;*
- ✓ *Assure l'adéquation de l'outil au besoin ;*
- ✓ *Identifie de nouvelles opportunités.*



Réseau d'expertise (groupes métiers nationaux de l'UNIE)

Partage autour des modèles Propositions de modifications, de nouveaux modèles.

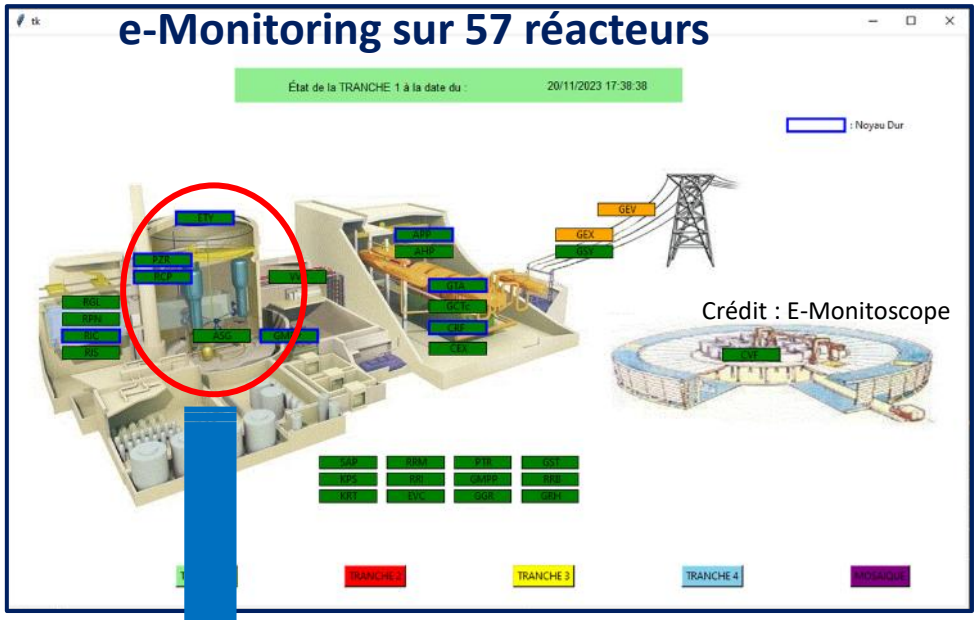
CoP Surveillance en ligne / DPA

Surveillance

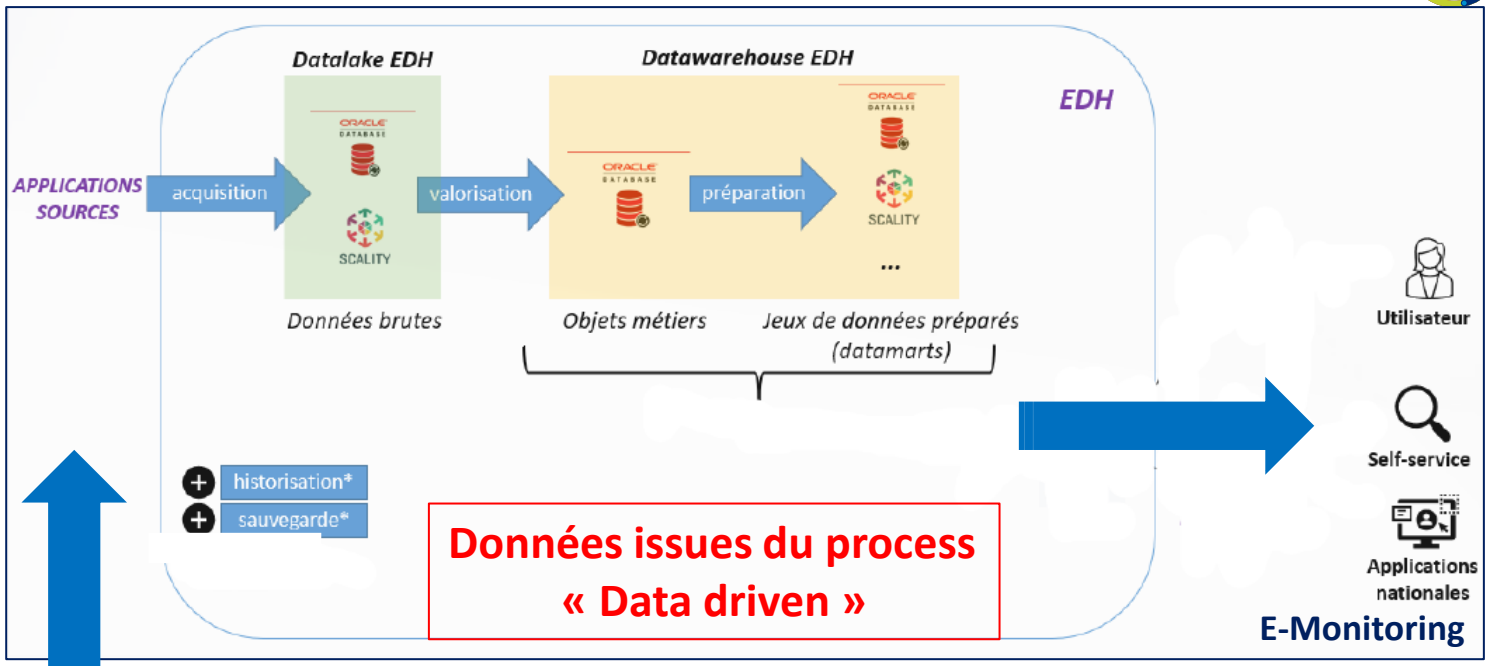
Expertise

3- E-MONITORING : PILOTAGE DU PROCESSUS – JUMEAU NUMERIQUE

e-Monitoring sur 57 réacteurs

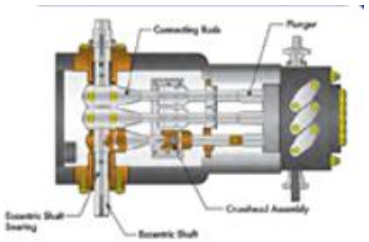


Crédit : E-Monitoscope

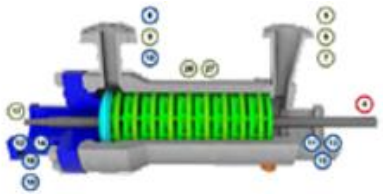


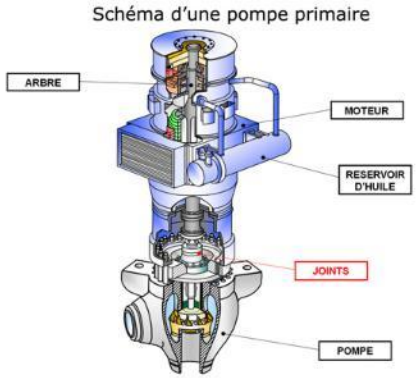
Données issues du process « Data driven »

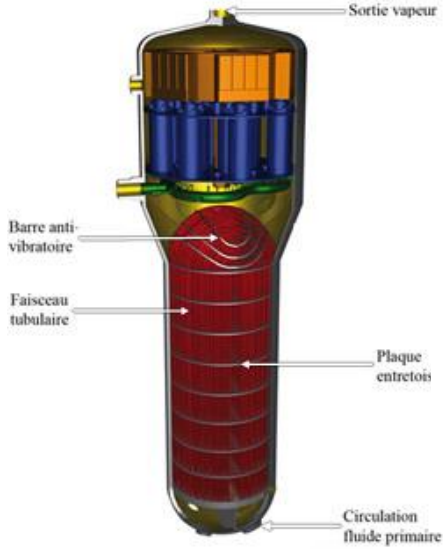
Equipements + instrumentation



+



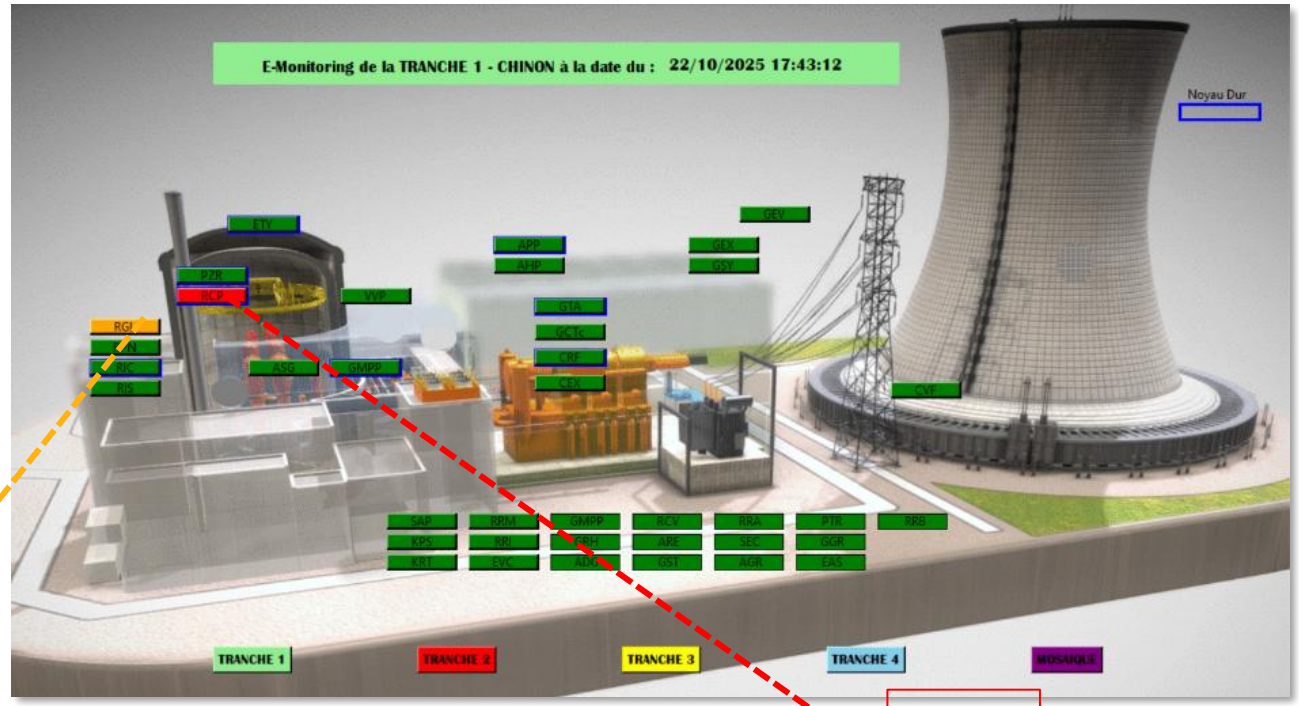






ACCESSIBILITE : INTERNE
Copyright EDF SA – 2025. Ce document est la propriété d'EDF. Toute communication, reproduction, publication, même partielle, est interdite sauf autorisation écrite.

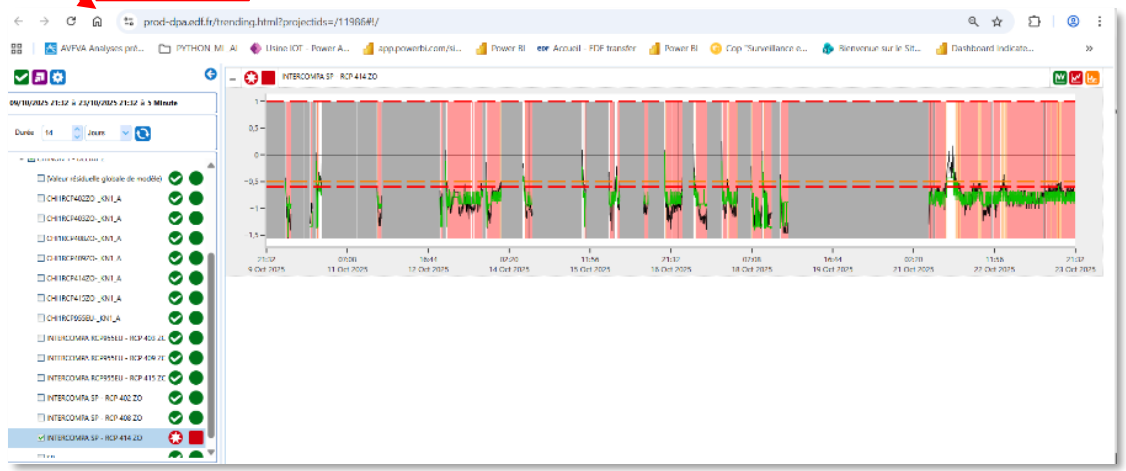
3- E-MONITORING : PILOTAGE DU PROCESSUS – JUMEAU NUMERIQUE



Avertissement

Alarme



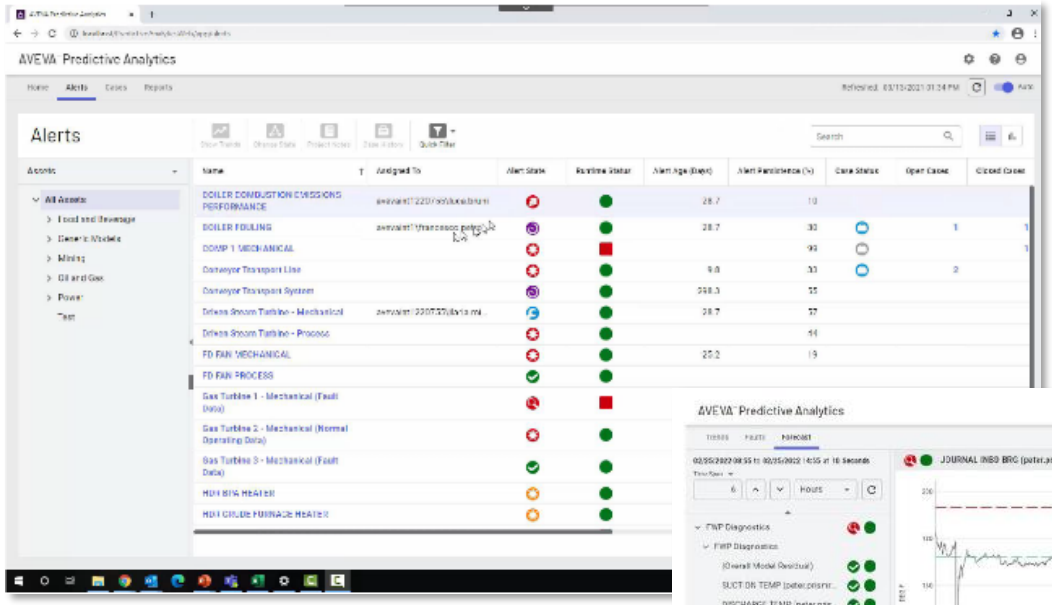


ACCESSIBILITE : INTERNE
Copyright EDF SA – 2025. Ce document est la propriété d'EDF - Toute communication, reproduction, publication, même partielle, est interdite sauf autorisation écrite

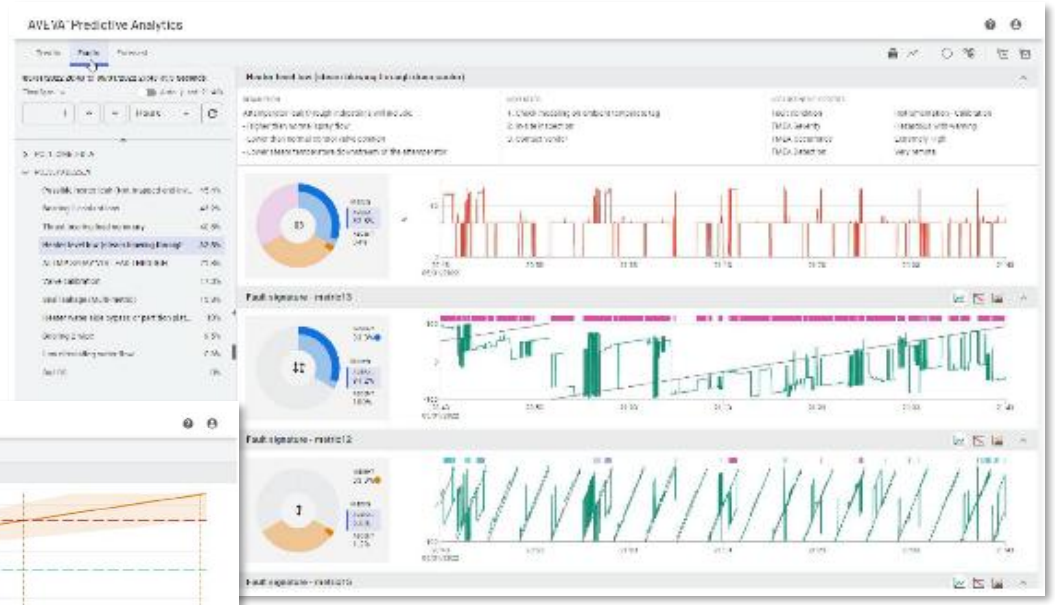
3- E-MONITORING : PILOTAGE DU PROCESSUS – JUMEAU NUMERIQUE

AVEVA Predictive Analytics

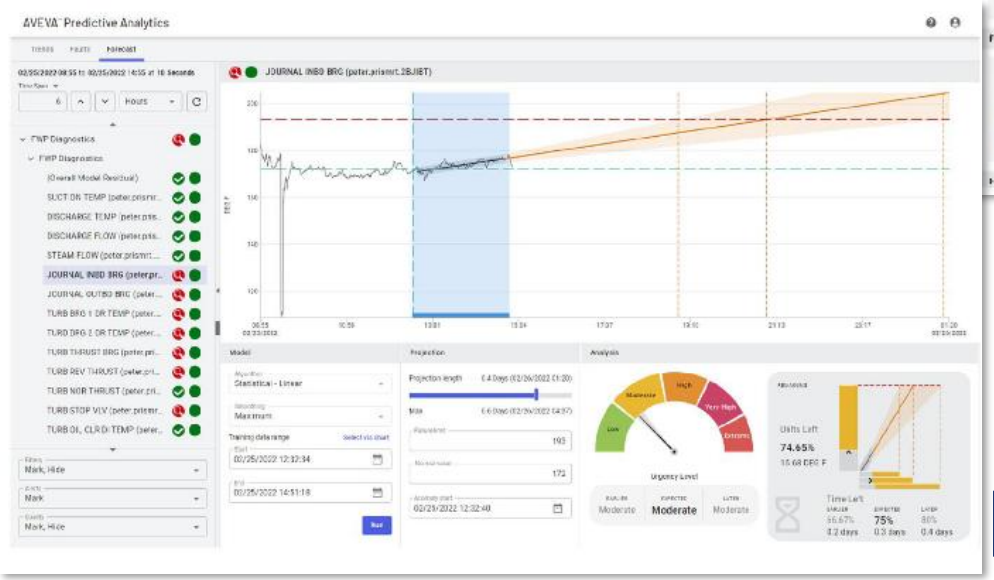
Interface moderne et pilotable / Etat d'exécution et visualisation des tendances / Meilleure gestion des alertes / Prévision des valeurs des capteurs / Rapports d'incidents et aide au diagnostic



Gestion quotidienne des alertes



Aide au diagnostic



Prévision et pronostic

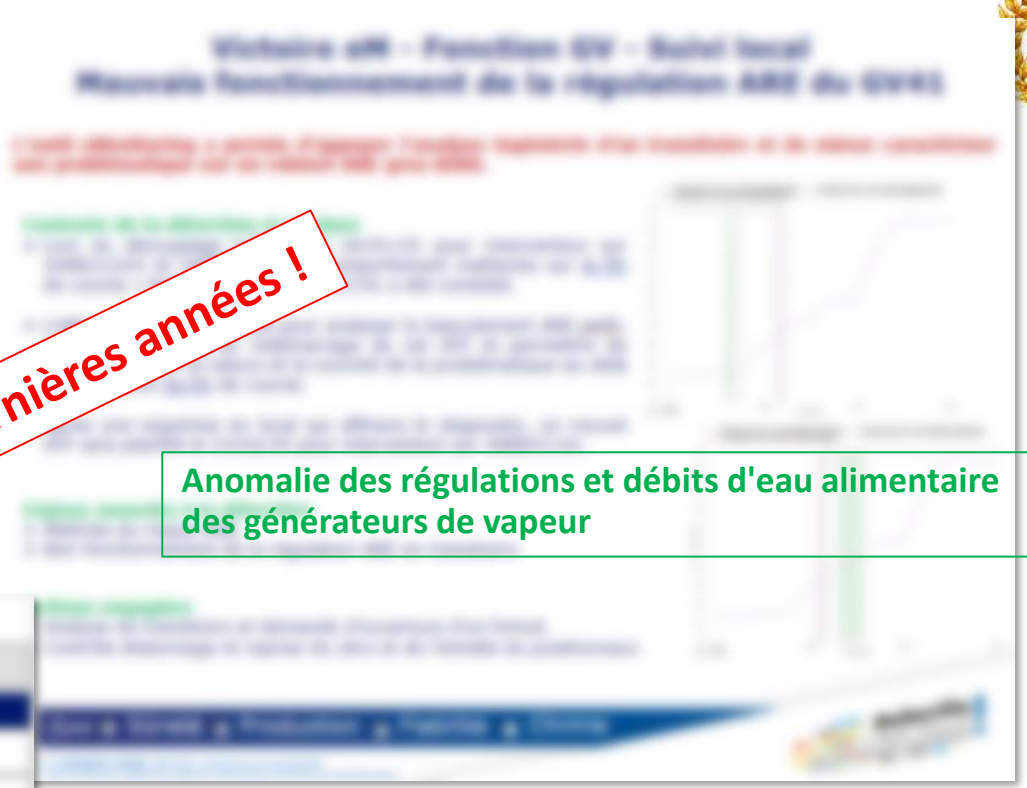
Copyright EDF SA – 2025. Ce document est la propriété d'EDF - Toute communication, reproduction, publication, même partielle, est interdite sauf autorisation écrite

4- E-MONITORING : VICTOIRES !

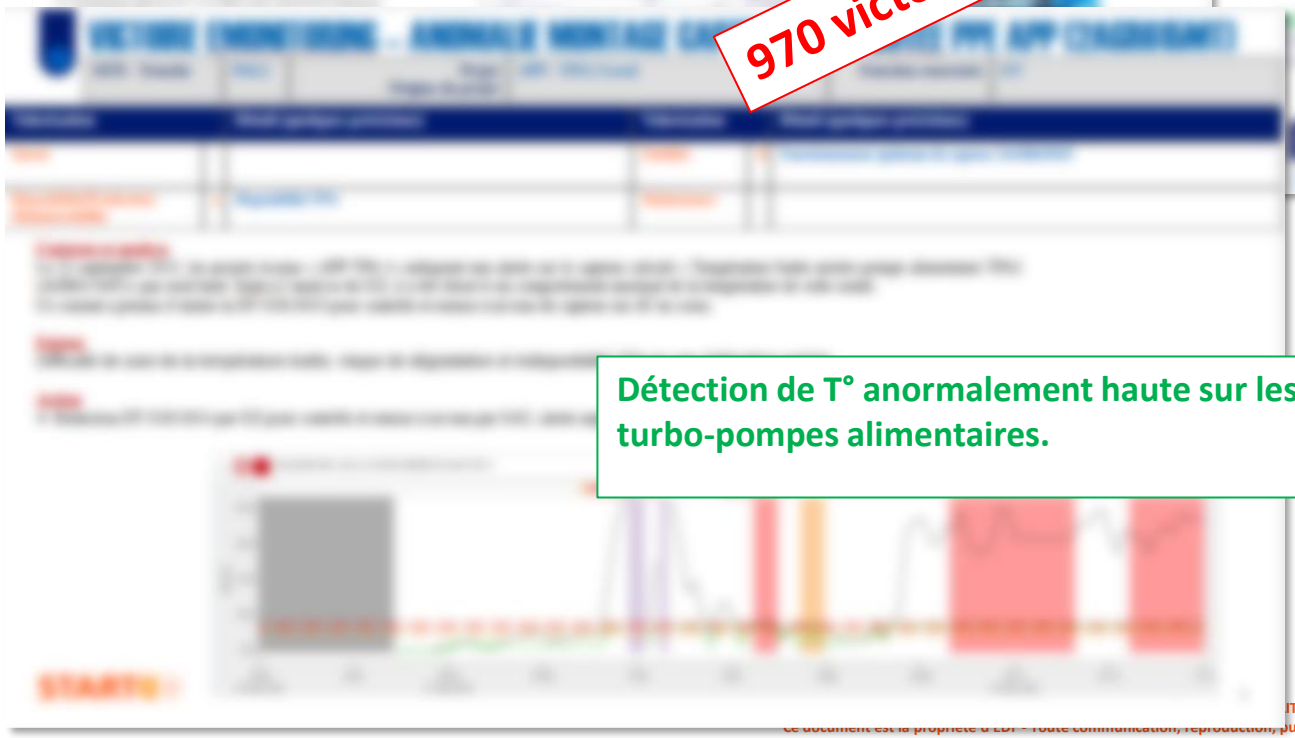


Fiabilité des transformateurs !

970 victoires sur les 5 dernières années !



Anomalie des régulations et débits d'eau alimentaire des générateurs de vapeur



Détection de T° anormalement haute sur les turbo-pompes alimentaires.

Détection Précoce d'Anomalies (DPA)

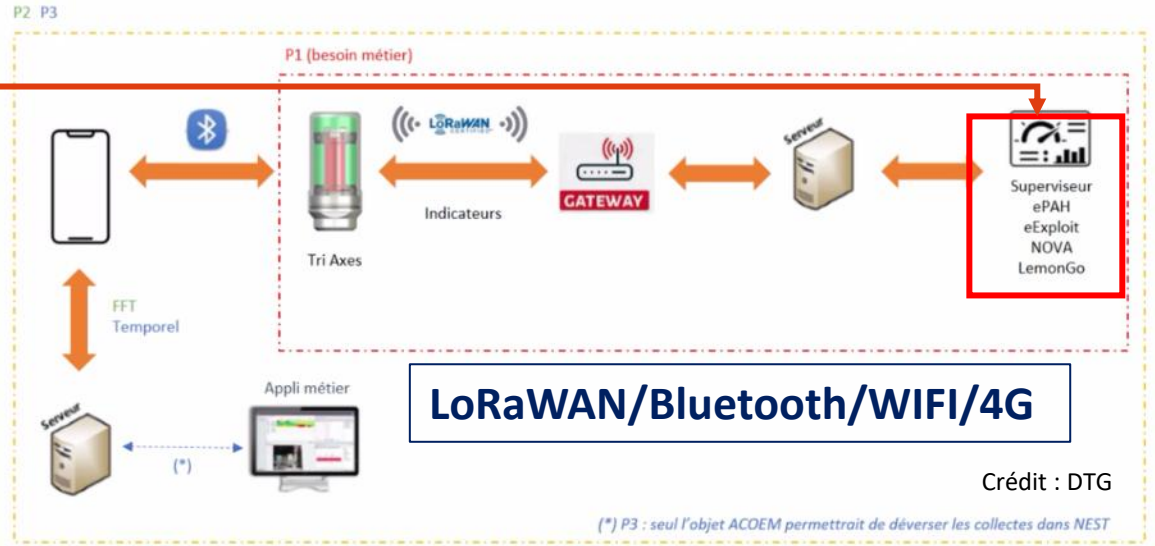
→ **Victoire avérée**

→ **Coûts évités / Gains en volumes de maintenance**

ITE : EXTERNE
Ce document est la propriété d'EDF - Toute communication, reproduction, publication, même partielle, est interdite sauf autorisation écrite.

5- E-MONITORING : INSTRUMENTATION SANS FIL (IoT)

L'e-Monitoring comme accélérateur de déploiement de nouvelles technologies de capteurs sans fils (IoT)



Crédit : DTG

Mesures vibratoires



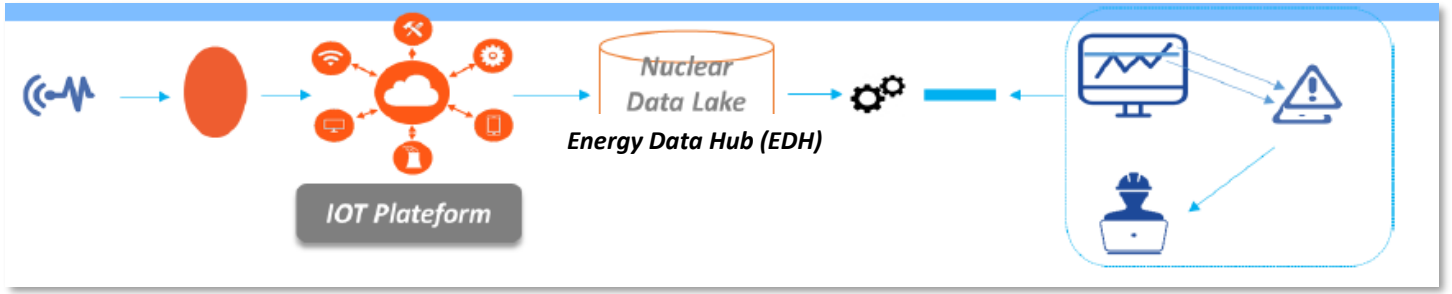
ACOEM EAGLE





VIBPATCH





DIEGO : Mesures de température, d'humidité et de débits par ultrason



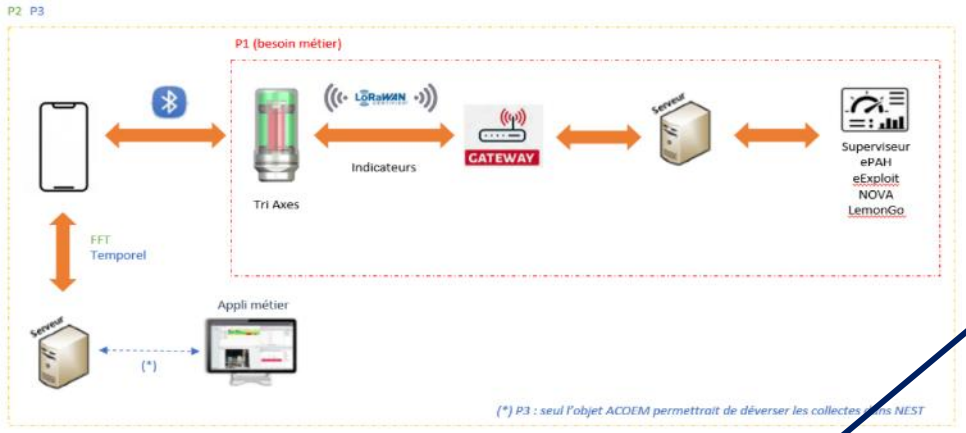








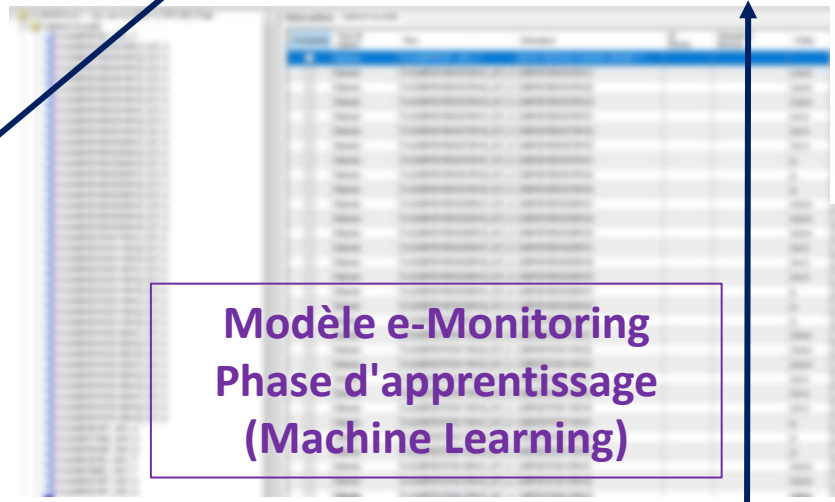
5- E-MONITORING : INSTRUMENTATION SANS FIL (IoT)



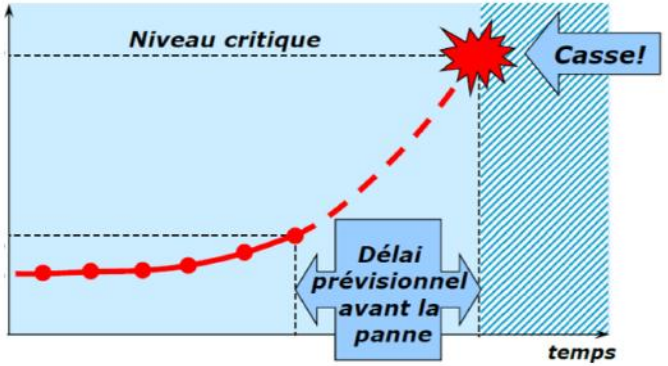
Acquisition de la donnée

- ✓ Fiabilité des mesures vibratoires
- ✓ Transmission télécom
- ✓ Intégration SI

Détection d'une anomalie

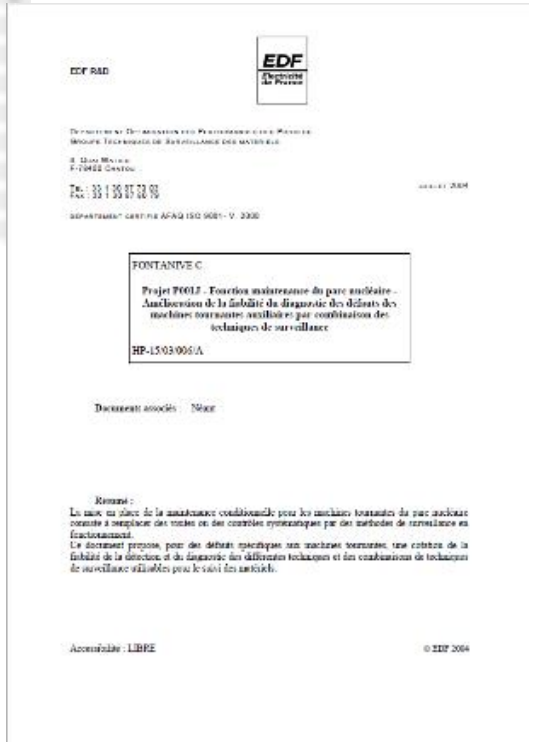


Modèle e-Monitoring
Phase d'apprentissage
(Machine Learning)



Caractérisation du défaut

- ✓ Matériel en exploitation
- ✓ Modes de dégradation



ACCESSIBILITE : INTERNE
Copyright EDF SA – 2025. Ce document est la propriété d'EDF - Toute communication, reproduction, publication, même partielle, est interdite sauf autorisation écrite

5- E-MONITORING : INSTRUMENTATION SANS FIL (IoT)

Moteur et pompes
Poste d'eau

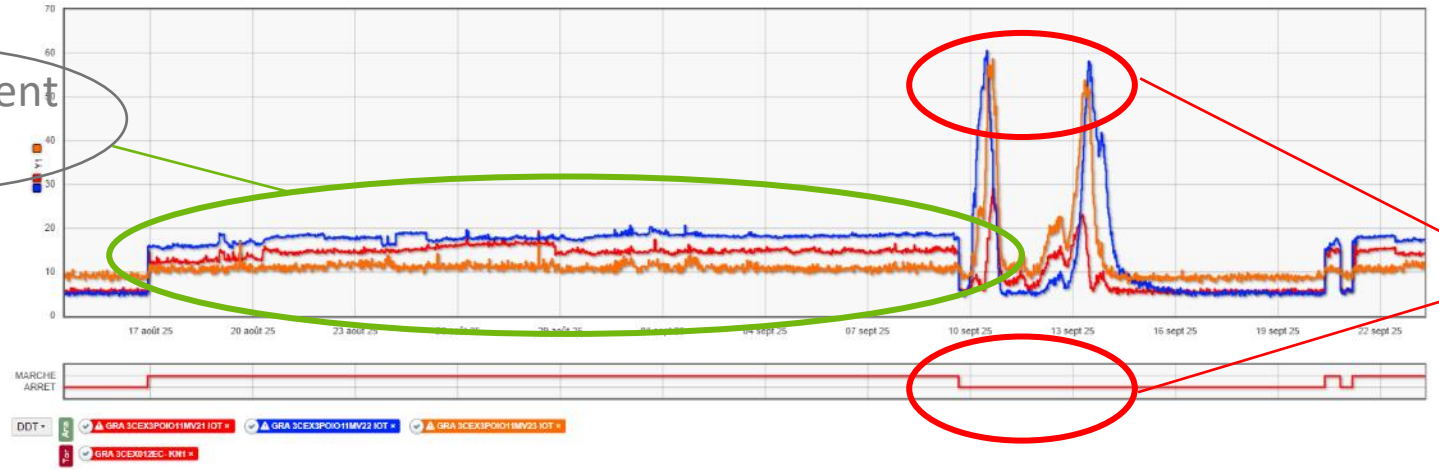






Flamanville 1/2
Gravelines 3

Fonctionnement stable



Comportement anormal à l'arrêt

ACCESSIBILITE : INTERNE
Copyright EDF SA – 2025. Ce document est la propriété d'EDF - Toute communication, reproduction, publication, même partielle, est interdite sauf autorisation écrite

6 - E-MONITORING ET MAINTENANCE PREDICTIVE

Augmenter la part de la maintenance conditionnelle et prédictive

❖ **Projet national dédié : « Projet Juste Maintenance » (PJM)**

- ✓ **Maintenance conditionnelle : prérequis/organisation/impacts divers (PLURI, PDR, ressources)**
- ✓ **Méthodes innovantes : maintenance prédictive et solutions technologiques (e-Monitoring)**

AMBITION

Réinterroger la maintenance courante afin de définir la « juste maintenance » à réaliser, c'est-à-dire les **actions de maintenance nécessaires et suffisantes** pour assurer la **fiabilité** des matériels en cohérence avec leurs **exigences d'exploitation** et les **enjeux du Parc** : sûreté, conformité, durée des arrêts de tranche, durée de fonctionnement a minima au-delà de 60 ans, **juste emploi des ressources**.

CONVICTIONS

Mettre en œuvre cette démarche d'optimisation permettra aux professionnels de la maintenance et de l'ingénierie :

- D'**approfondir leur connaissance de la machine** par une prise de recul sur les modes de défaillance et leurs conséquences sur le système ou la fonction,
- De **redonner du sens aux actions demandées** et **redonner de la valeur aux diagnostics** réalisés par les acteurs de terrain lors de leurs activités
- D'**accroître l'utilisation de la maintenance conditionnelle et de nouvelles solutions technologiques** plus en phase avec les standards de l'industrie

Si alarmes

Réparations → Fiabilité des matériels

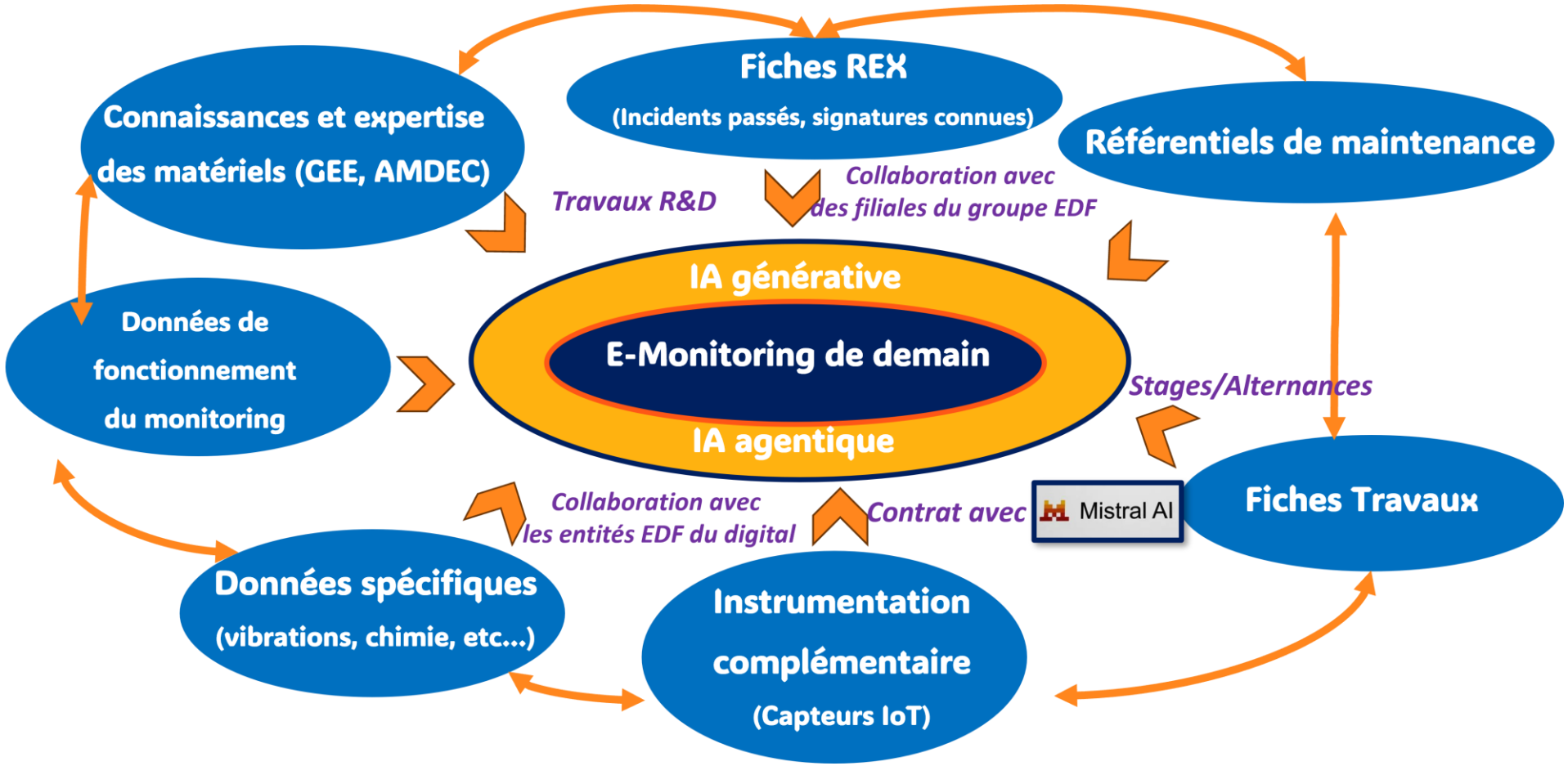
Si pas d'alarmes

Relaxation des périodicités de maintenance

7 - E-MONITORING DE DEMAIN : PERSPECTIVES

Surveillance → Diagnostic → Pronostic

- Module IA de recherche de REX
- Module IA de la fiabilité
- Module IA de la juste maintenance





ISI by UNIE #UNIEPOURLEPARC



MERCI



EDF