

Introduction sur le jumeau numérique – état de l'art

Christophe VARE

***Délégué Programme Durée de
Fonctionnement du Parc Nucléaire***

EDF

Disclaimer

- ❑ This presentation is aimed at presenting EDF R&D activities and do not constitute an offer of services for sale in any jurisdiction. No reliance should be placed on the accuracy, completeness or correctness of the information or opinions contained in this presentation. None of EDF or any of its affiliates, advisors or representatives, shall bear any liability (in negligence or otherwise) for any loss arising from any use of this presentation or its contents or otherwise arising in connection with this presentation.
- ❑ All statements other than statements of historical fact included in this presentation, including, without limitation, those regarding the financial position, business strategy, management plans and objectives for future operations of the Group, are forward-looking statements. These forward-looking statements involve known and unknown risks, uncertainties and other factors, which may cause actual results, performance or achievements of the Group, or industry results, to be materially different from those expressed or implied by these forward-looking statements.
- ❑ Forward-looking information contained in this document only apply at the date of this document and EDF does not commit to updating them later to reflect subsequent facts and circumstances or occurrence of unanticipated events.

Systematic Paris-Region Hub Day sur les Jumeaux numériques – 28/11/2019

SOMMAIRE

Un ensemble de technologies arrivées à maturité

- La simulation numérique
- La mesure physique, moyens de communication
- Le traitement des données

La possibilité de créer des jumeaux numériques

- Jumeaux numériques : caractéristiques, intérêts
- Un exemple

Les nouvelles perspectives ouvertes

- Perspectives d'utilisation des jumeaux numériques
- Un exemple

Conclusions

SOMMAIRE

Un ensemble de technologies arrivées à maturité

- La simulation numérique
- La mesure physique, moyens de communication
- Le traitement des données

La possibilité de créer des jumeaux numériques

- Jumeaux numériques : caractéristiques, intérêts
- Un exemple

Les nouvelles perspectives ouvertes

- Perspectives d'utilisation des jumeaux numériques
- Un exemple

Conclusions

Simulation

Un ensemble de compétences au service d'un processus de production
d'outils de simulation validés

Modélisation : de la physique aux équations

Analyse numérique et codage : des équations aux algorithmes

Adaptation à l'architecture des super calculateurs

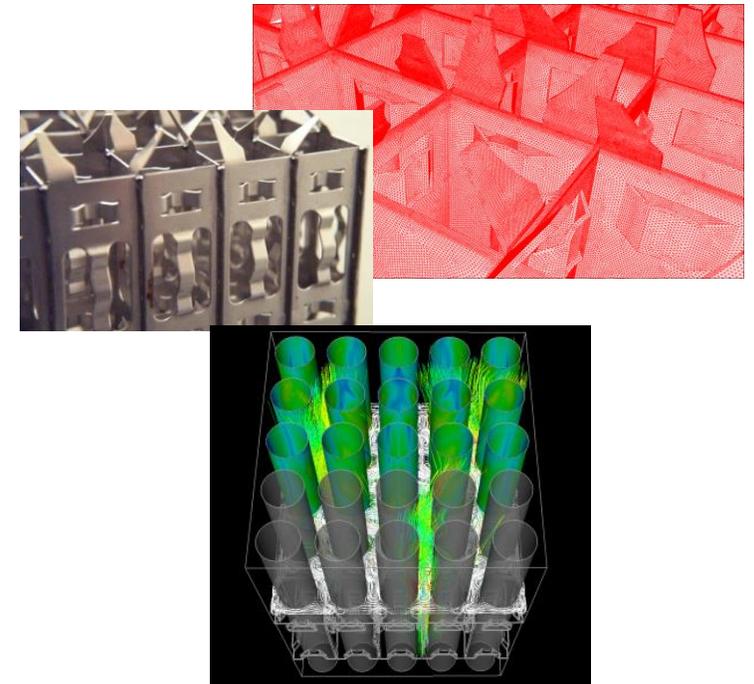
Validation et paramétrisation : sur données expérimentales et benchmarks

Pré et post-processing : maillage, visualisation, adaptation de maillage...

Développement de méthodologies : comment utiliser les différentes fonctionnalités d'un logiciel pour modéliser un phénomène physique complexe

Qualification : détermination du domaine de validité pour les études industrielles

$$\frac{1}{v} \frac{\partial \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E, t)}{\partial t} = - \left[\vec{\Omega} \cdot \vec{\nabla} + \Sigma(\vec{r}, E) \right] \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E, t) + \frac{\chi(\vec{r}, E)}{4\pi} \int dE' v \Sigma_f(\vec{r}, E') \int d^2\Omega' \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}', E', t) + \int dE' \int d^2\Omega' \Sigma_s(\vec{r}, \vec{\Omega}' \leftarrow \vec{\Omega}, E \leftarrow E') \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}', E') + Q_e(\vec{r}, \vec{\Omega}, E, t)$$



Simulation

Les grandes avancées de ces 30 dernières années

Solveurs de résolution non linéaire

Analyse transitoire

Lois matériaux avancées

Raffinement de maillage

Parallélisation

Multi-physique

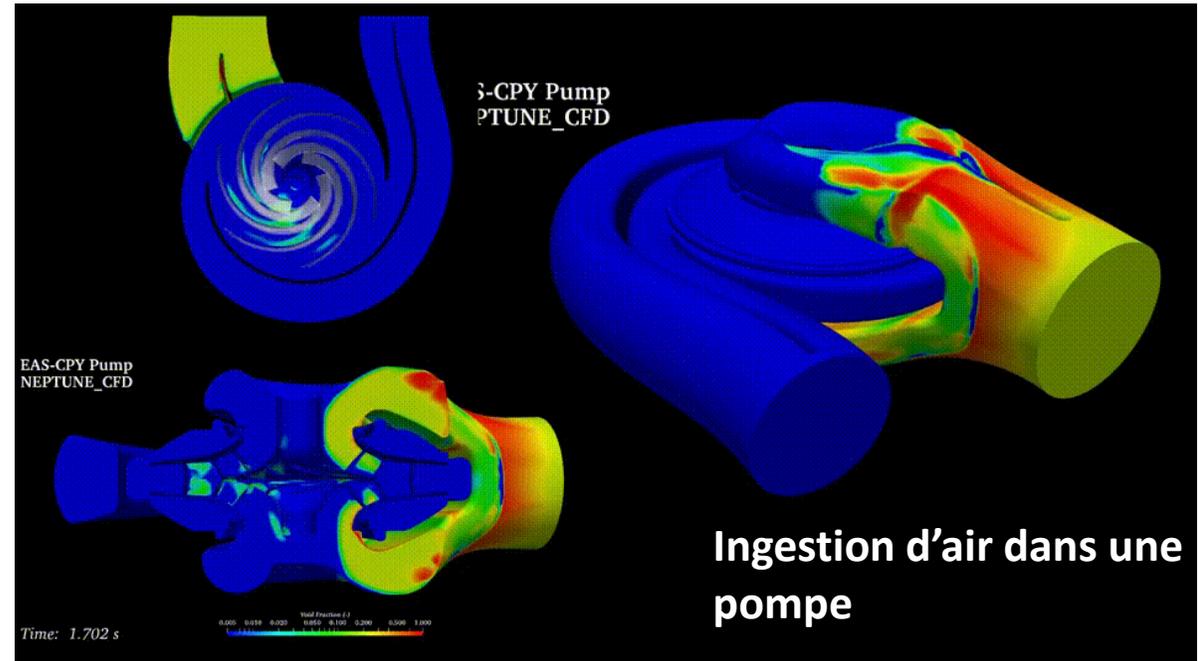
Multi-échelle

Approches probabilistes

Assimilation de données

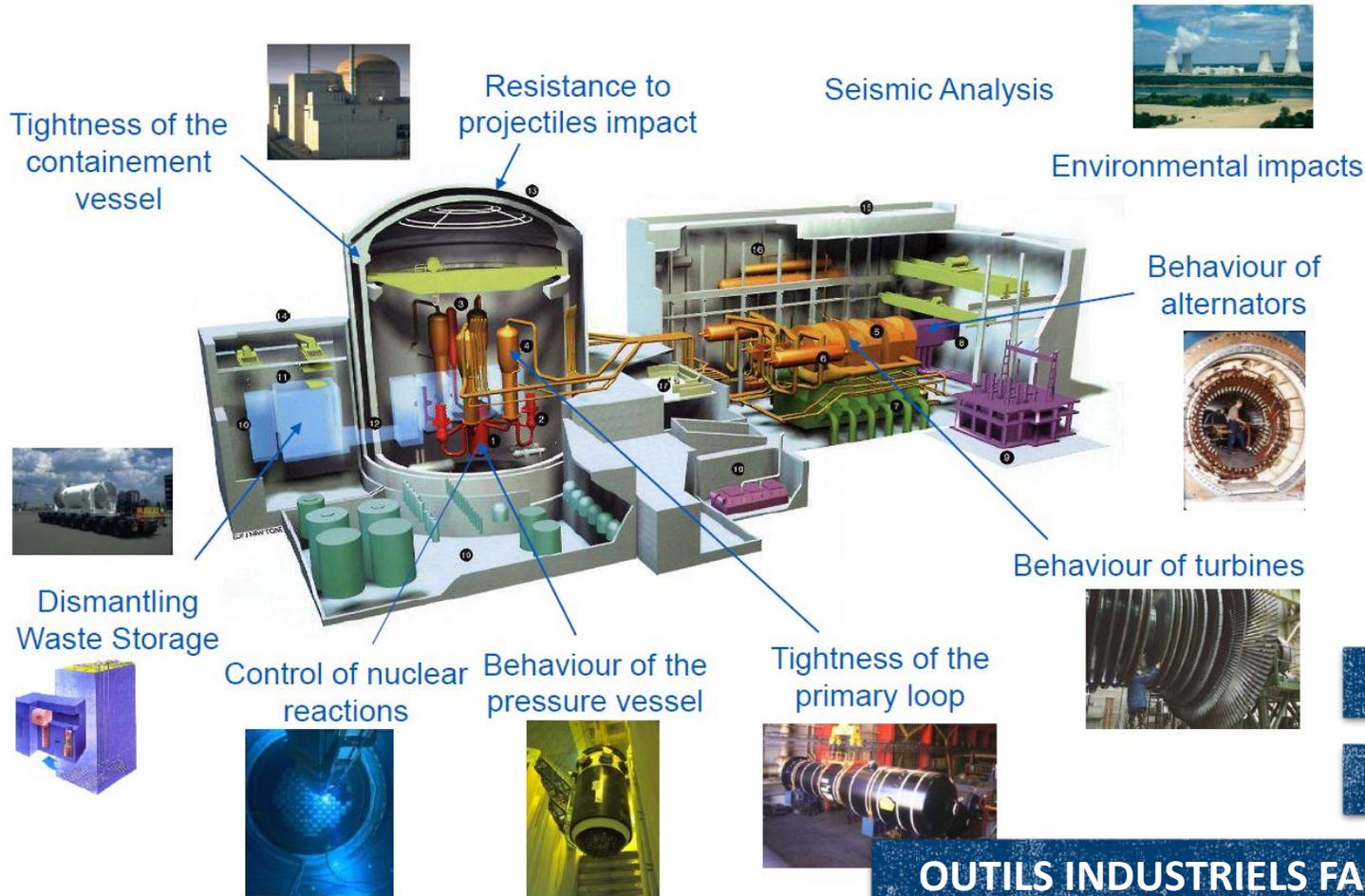
Plateformes de simulation

Environnements de développement/simulation...



Simulation avancée

Une diversité d'outils au service d'un ensemble d'applications



OPEN-SOURCE

MULTI-PHYSIQUE

HAUTE PUISSANCE DE CALCUL

OUTILS INDUSTRIELS FAISANT L'OBJET DE PROCEDURES DE VALIDATION APPROUVEES PAR L'AUTORITE DE REGULATION

Mesure physique

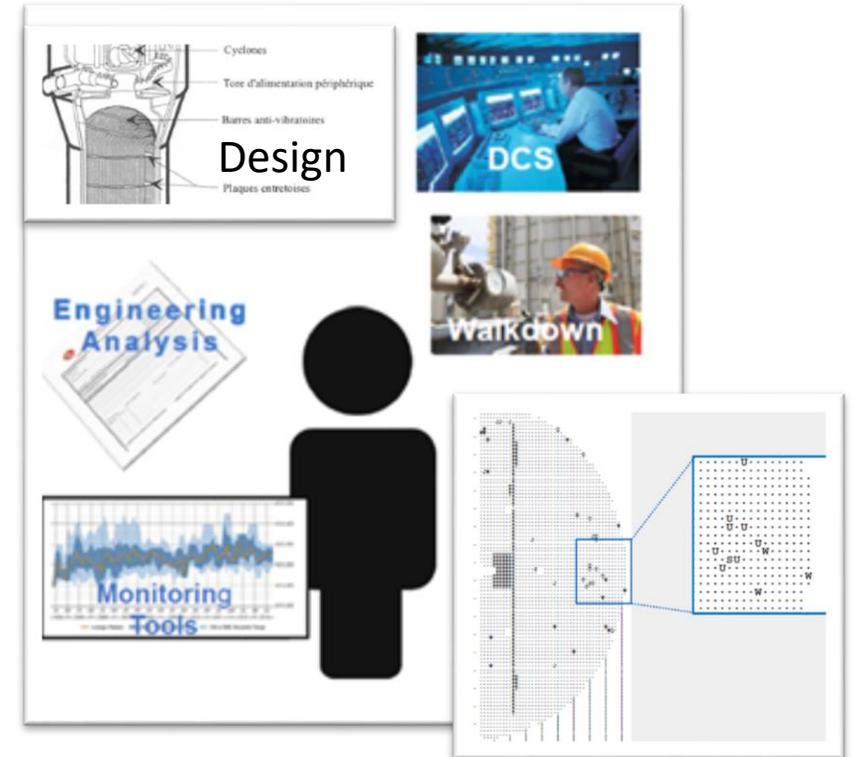
Pas d'analyse de données sans données

Différents types de mesures :

- Design : géométrie, propriétés matériaux...
- Données de maintenance : actions correctives réalisées
- Données de fonctionnement : pression, températures... mesurées en ligne
- Données de surveillance : données brutes éventuellement post-traitées
- Données de contrôle : mesures non destructives...

Qui font l'objet de progrès considérables :

- Développement des scanners
- Développement de la tomographie
- Développement du sans fil...
- Amélioration continue des techniques de mesures (représentativité, fiabilité, durée de vie...)
- Amélioration des moyens de communication, de stockage et des outils d'analyse de données



Mesure physique

Exemple de domaines ayant faits des progrès en rupture

Mesure sans fil :

Sonde Gamma



Capteur de choc (Accéléromètre)



Capteur de pression

Sirène d'alarme

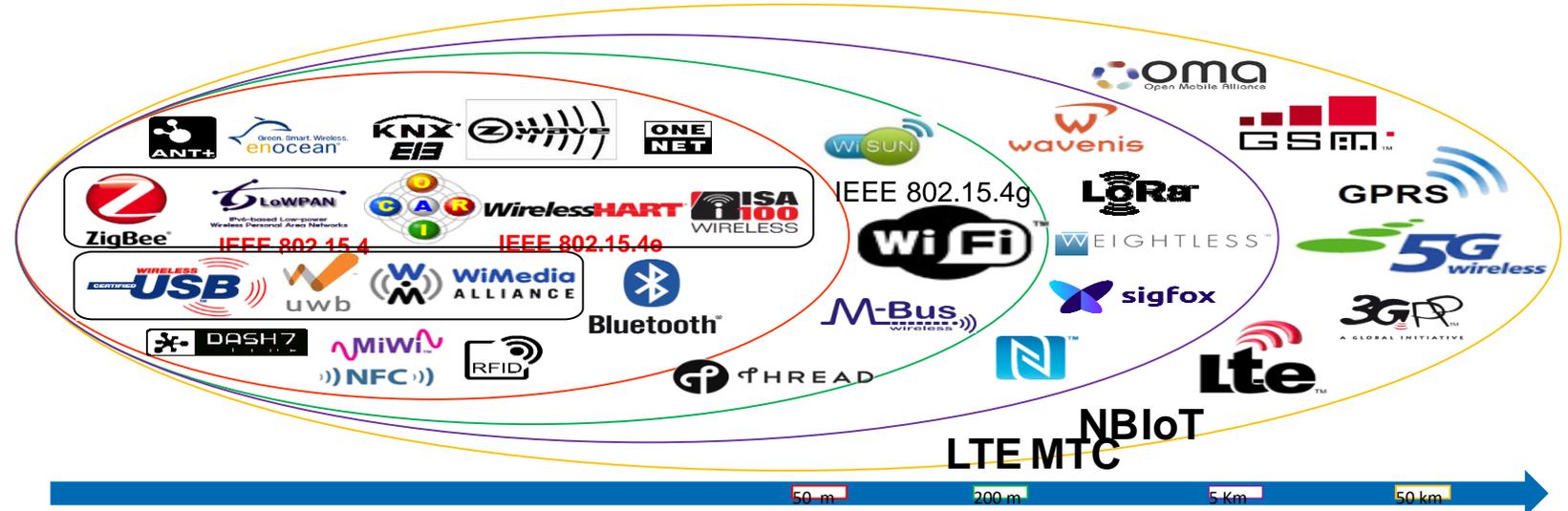


Capteur de niveau

Sonde de température

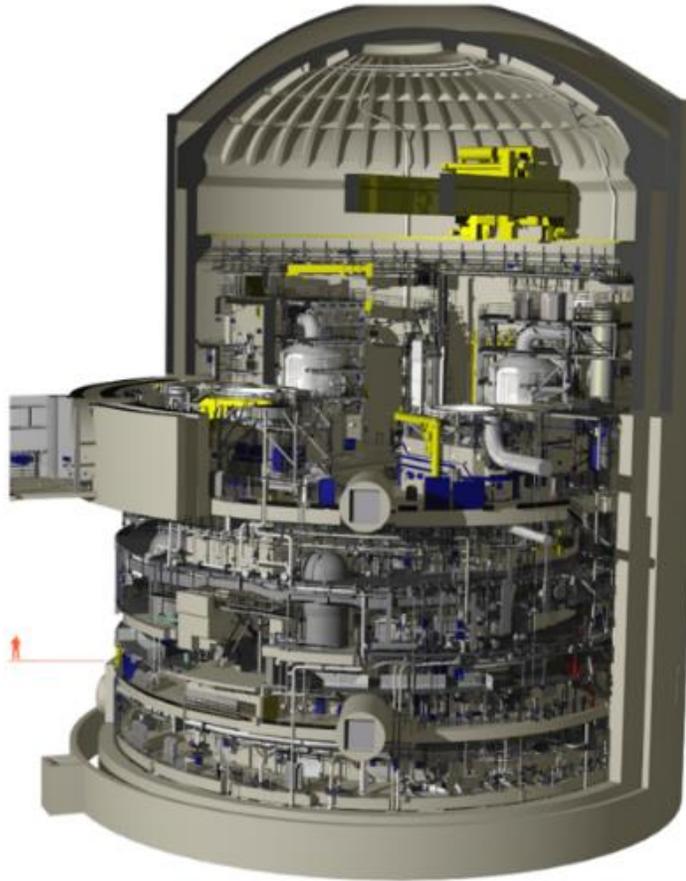


Transmission sans fil :



Mesure physique

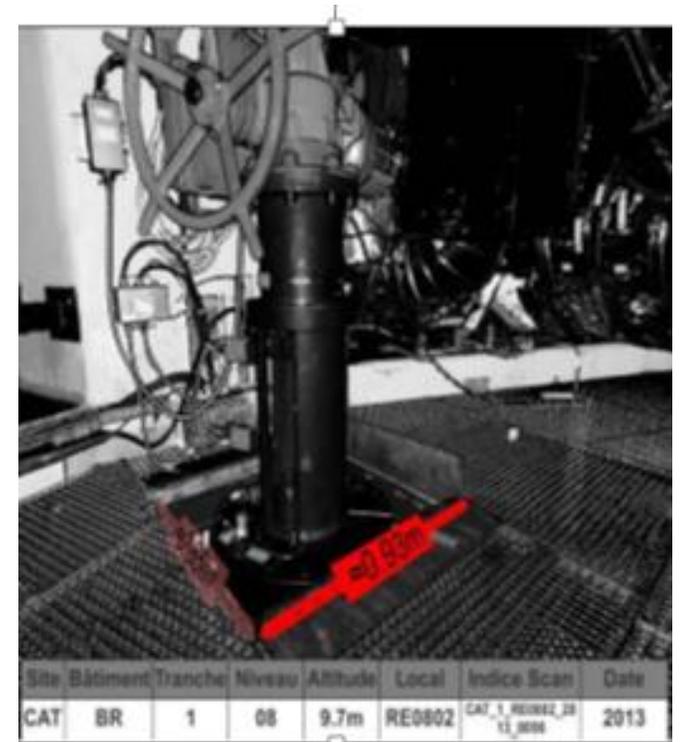
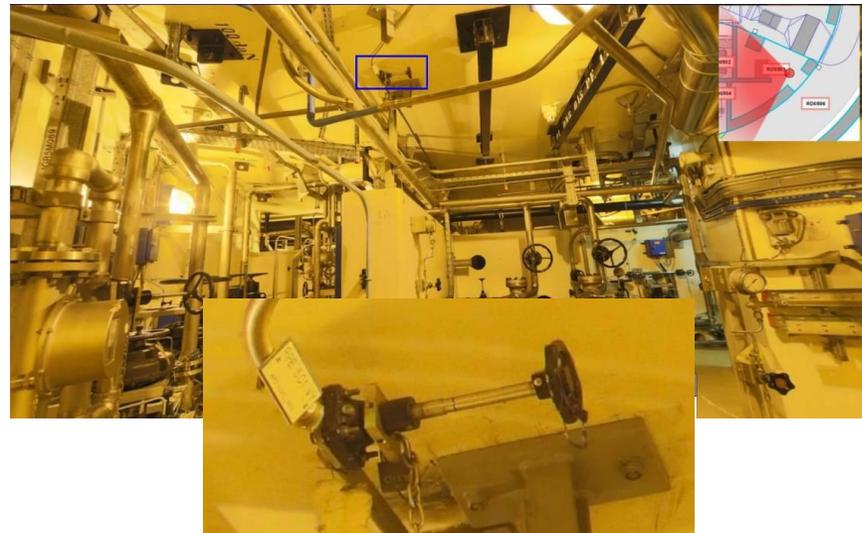
Réalisation d'un modèle complet de bâtiment réacteur



Photos 360° haute résolution
+ scans laser + CAD 360



360° photos: automated localization of areas and equipment



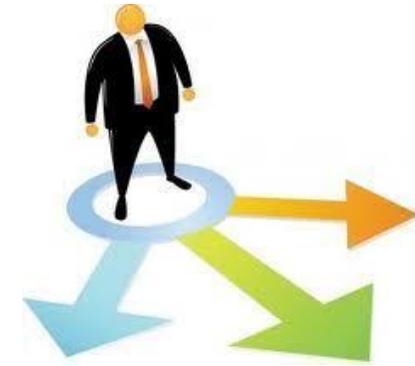
Scans : mesure directe de distances

Traitement de données

Autre domaine en forte évolution

Le Data Analytics est une science consistant **à examiner des données brutes, dans le but de tirer des conclusions** à partir de ces informations.

Le Data Analytics est utilisé dans de nombreuses entreprises afin de permettre aux organisations de **prendre de meilleures décisions.**



Le Big Data, ou mégadonnées, désigne des **ensembles de données** devenus si **volumineux qu'ils dépassent l'intuition et les capacités humaines d'analyse** et même celles des outils informatiques classiques. La complexité du jeu de données à analyser peut provenir de **son volume, de sa variété ou de la vélocité d'acquisition** (principe des 3 V).

Traitement de données

Les évolutions technologiques derrière le Big Data

Les **créations technologiques** qui ont facilité la venue et la croissance du Big Data peuvent être catégorisées en **deux familles** :

➔ **Les technologies de stockage**

➔ **Les technologies de traitement ajustées**



The Big Data technology stack is changing rapidly

Traitement de données

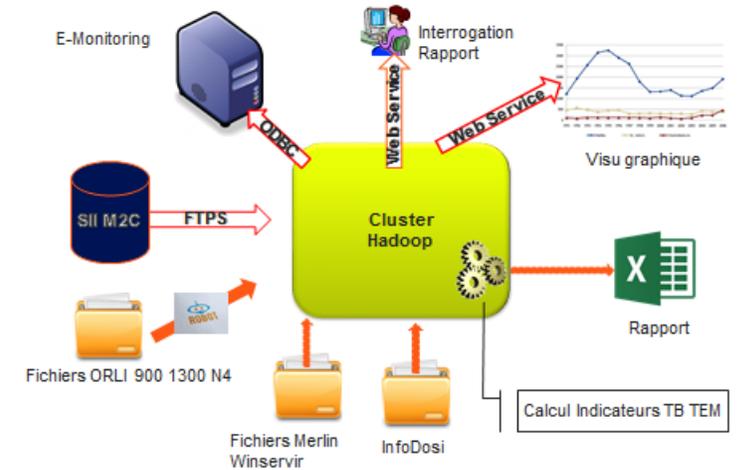
Actions en cours à EDF

■ Création d'une base de stockage de toutes les mesures de fonctionnement des moyens de production d'EDF

- Utilisation de la technologie Hadoop Data Warehouse
- Centralisation des données pour accès des différentes unités EDF
- Déploiement en cours avec un retour d'(expérience positif

■ Mise en place d'outils de traitement des données stockées

- Mise en place d'outils de visualisation et de traitement avancés :
 - Analyses statistiques au périmètre d'un réacteur, ou d'une flotte de réacteurs
 - Détection de comportements anormaux, de fonctionnalités de diagnostic
 - Mise à disposition de traitements avancés (y compris d'intelligence artificielle)
 - En cohérence avec les standards informatiques d'EDF
- Réalisation de use cases d'intérêt



SOMMAIRE

Un ensemble de technologies arrivées à maturité

- La simulation numérique
- La mesure physique, moyens de communication
- Le traitement des données

La possibilité de créer des jumeaux numériques

- Jumeaux numériques : caractéristiques, intérêts
- Un exemple

Les nouvelles perspectives ouvertes

- Perspectives d'utilisation des jumeaux numériques
- Un exemple

Conclusions

Qu'est-ce qu'un « jumeau numérique »

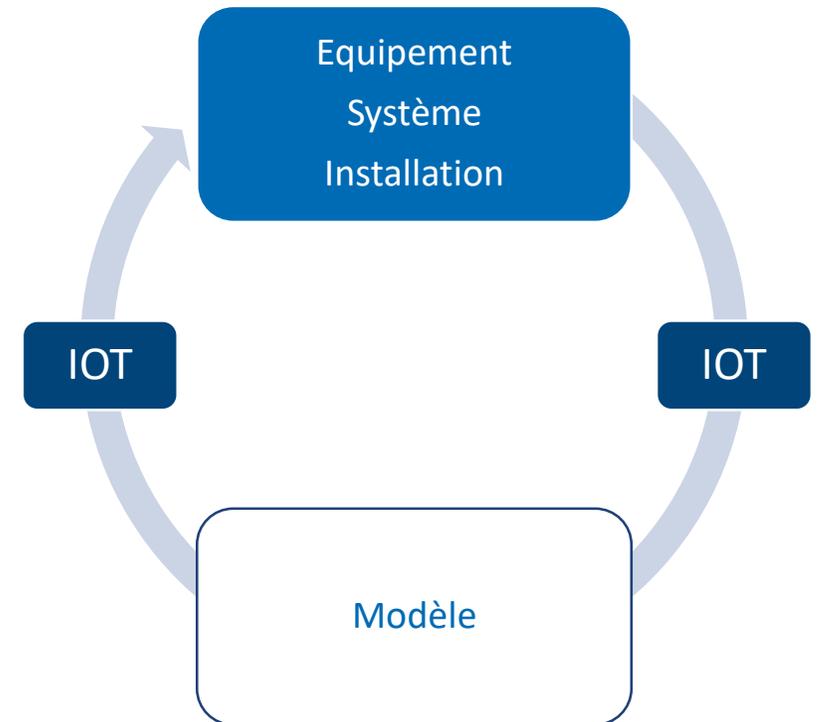
Aucune définition officielle mais quelques caractéristiques générales

Le jumeau numérique d'un équipement/système/installation industriel est une image numérique de cet équipement/système/installation qui s'appuie :

- Sur une représentation virtuelle qui peut être à base physique (model centric), issu d'un traitement de données (data centric) ou d'un mixte des deux
- Sur une connexion avec l'équipement, le système ou l'installation qu'il représente permettant au modèle de s'actualiser en fonction des données qu'il reçoit

Les jumeaux numériques trouvent leur valeur dans des fonctions qui leur sont propres :

- **Individualiser** les décisions à la situation de chaque composant
- **Etendre** du domaine d'observation (limité dans le monde réel aux points de mesure) à l'ensemble du modèle
- **Prédire** le comportement futur de l'équipement, du système ou de l'installation sur la base d'une connaissance optimale de son état à l'instant t

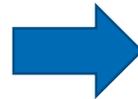


Jumeaux numériques – un exemple

Jumeaux numériques – un exemple

Prévision météorologique

Comment sommes-nous passés d'une prévision fiable à 1 ou 2 jours à une prévision fiable à 1 ou 2 semaines



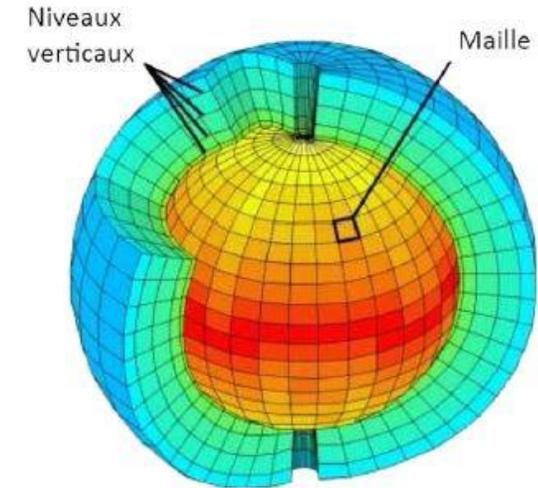
Par la création d'un jumeau numérique de l'atmosphère terrestre (qui ne dit pas son nom), c'est-à-dire par la mise en place d'un processus d'assimilation périodique dans les modèles des données issues des mesures

Jumeaux numériques – un exemple

Prévision météorologique

La qualité des prévisions s'appuie sur 4 piliers :

- La richesse des observations
- Les méthodes d'assimilation des données dans les modèles
- La représentativité des modèles eux-mêmes
- Les puissances de calcul disponibles



Météo France considère que l'amélioration des prévisions ces 10 dernières années résulte pour moitié de l'augmentation des mesures réelle prises en compte dans les modèles et des nouvelles techniques d'assimilation (et pour moitié de l'amélioration des modèles eux-mêmes)

- Entre 2012 et 2016, multiplication par 5 du nombre de données assimilées dans les modèles (traitement en temps réel des données satellitaires, amélioration des radars au sol...)
- Mise en place d'un processus d'assimilation des données toutes les 6 heures dans le modèle Arpège et toutes les 3 heures pour le modèle à maille fine Arôme (donnée 2014)
- Mise à disposition de puissances de calcul permettant des simulations en temps réel et ayant nécessité des évolutions logicielles très lourdes (passage d'une architecture vectorielle à une architecture scalaire, massivement parallèle)

SOMMAIRE

Un ensemble de technologies arrivées à maturité

- La simulation numérique
- La mesure physique, moyens de communication
- Le traitement des données

La possibilité de créer des jumeaux numériques

- Jumeaux numériques : caractéristiques, intérêts
- Un exemple

Les nouvelles perspectives ouvertes

- Perspectives d'utilisation des jumeaux numériques
- Un exemple

Conclusions

Enjeux industriels

Nouvelles perspectives

	Extension du domaine d'observation	Prédiction du comportement futur
R&D	Applications aux installations expérimentales pour une meilleure interprétation des résultats	
Ingénierie	Amélioration des outils d'études avancées Application au design (prototypage)	
Exploitation	Préparation des chantiers Surveillance des équipements - Développement de la maintenance prédictive Amélioration de la sécurité par une meilleure connaissance actuelle et future de l'installation Optimisation des paramètres d'exploitation Formation des opérateurs	Optimisation de la durée de fonctionnement
Vente	Création d'un avantage compétitif Création d'un nouveau business	

Enjeux industriels

Exemple de l'éolien



Jumeau numérique éolienne (et champ d'éoliennes)

- Modélisation à l'état de l'art
- Recalage du modèle en fonction de données réelles (modes propres mat, fonctionnement électromécanique...)
- Intégration de données issues de mesures ponctuelles (défauts de structure, état des pales composite...) et de mesures on-line (défauts électrique dans la génératrice...)

Utilisation

- E-monitoring.
- Préparation des opérations de maintenance
- Calcul de durée de vie
- Possibilité de valoriser le jumeau numérique dans le cadre d'une vente
- Possibilité de créer un service de monitoring des éoliennes

SOMMAIRE

Un ensemble de technologies arrivées à maturité

- La simulation numérique
- La mesure physique, moyens de communication
- Le traitement des données

La possibilité de créer des jumeaux numériques

- Jumeaux numériques : caractéristiques, intérêts
- Un exemple

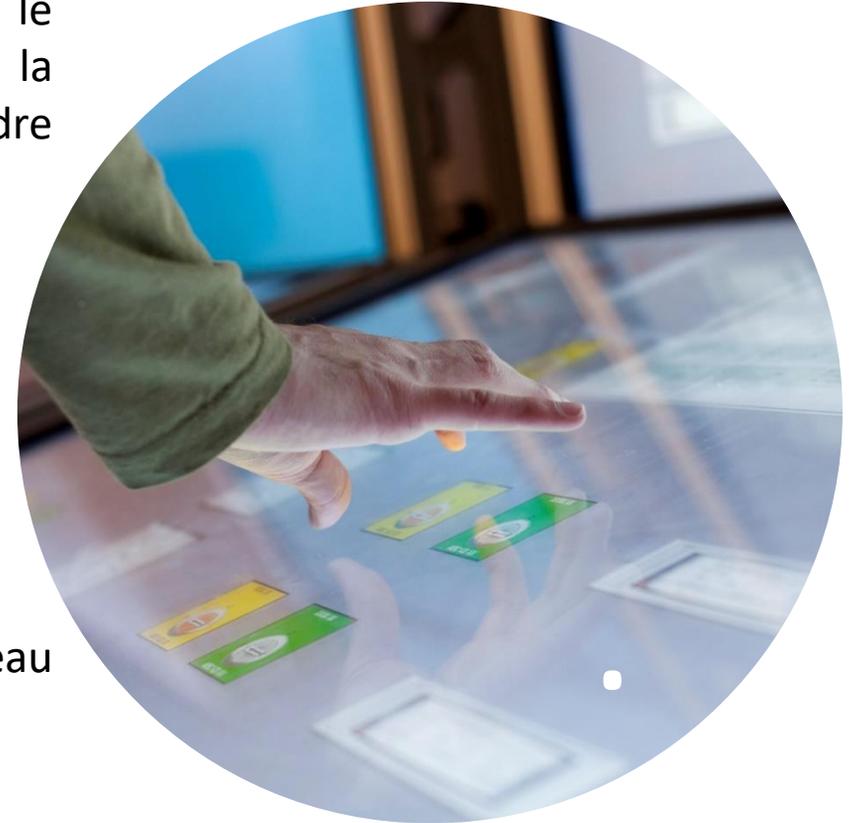
Les nouvelles perspectives ouvertes

- Perspectives d'utilisation des jumeaux numériques
- Un exemple

Conclusions

Conclusions

- Les jumeaux numériques sont une nouvelle étape dans le développement des outils d'analyse de l'ingénieur. Ils répondent à la nécessité de gérer des systèmes de plus en plus complexe dans un cadre réglementaire toujours plus exigeant
- Ils ont fait la preuve de leur efficacité dans de nombreux domaines mais renvoie aussi à des questions importantes relatives entre autres à la gestion des données : qualité, centralisation, stockage (public/privé), gouvernance, robustesse vis-à-vis des cyber attaques...
- Ce succès ne doit pas faire oublier de toujours se placer dans un objectif de création de valeur pour l'entreprise. Un jumeau numérique à tout faire ne fera probablement rien de bien !
- Il y a probablement une dimension communication à ne pas négliger
- Et ne jamais oublier la nécessité d'embarquer les personnels pour qu'ils s'approprient ce nouvel outil





by FRENCH NUCLEAR INSTITUTE
| 3P



framatome