

Innovation I4.0 @Orano

le digital au service de nos procédés

Jean-Reynald MACE
Mars 2023

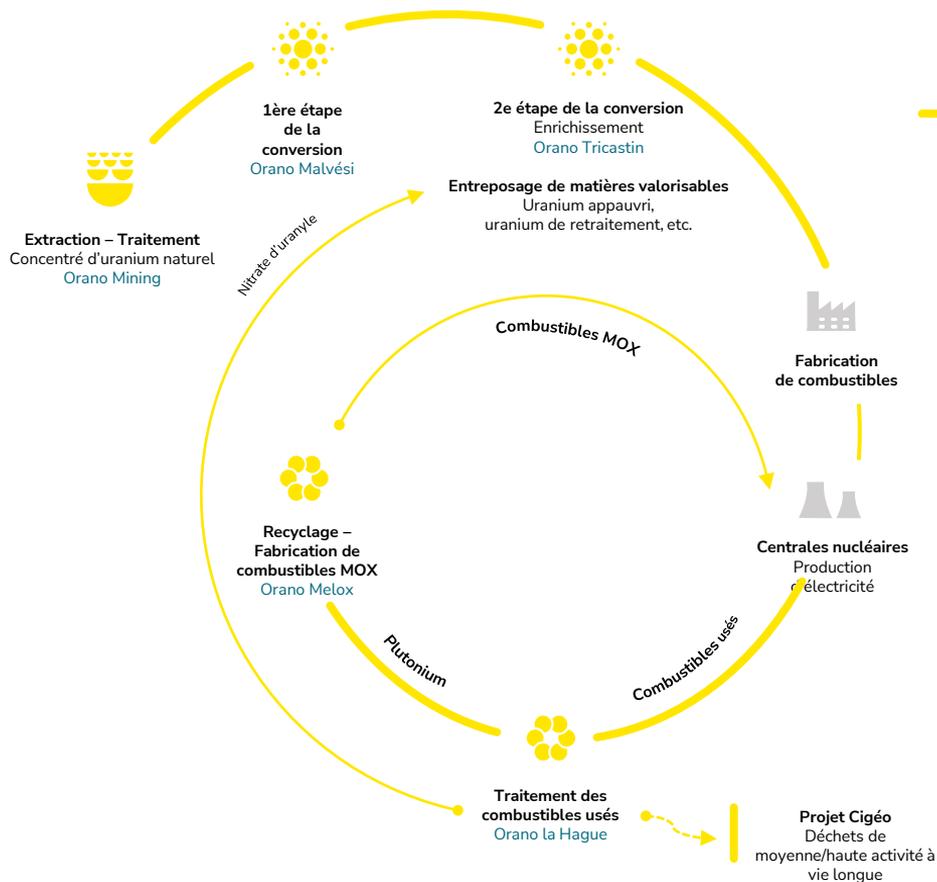


orano

Sommaire

1. Orano @ glance
2. Technologies I4.0 au service de la productivité et de l'aide à la décision
3. Cas d'usage utilisation du digital sur les procédés Orano
4. Synthèses et Q&R

Assurer l'excellence sur tout le cycle du combustible...



... et sur l'ensemble des activités de service



Emballages Nucléaires & Services



Ingénierie



Démantèlement & Services

Orano innove

Transition industrielle



Transition Energétique



Orano innove aussi pour soutenir le **nucléaire de demain** (SMR, AMR, MSR) – fourniture combustible

Un procédé hydro métallurgique dans une approche décentralisée pour **réduire davantage l'empreinte carbone** et les coûts de transport – recyclage batterie

110 M€

Investis en 2020 pour la **Recherche**, le **Développement** et l'**Innovation** (RDI)



Santé

Le développement des **thérapies ciblées** **contre le cancer** à base de Pb²¹²

TerraPower

Southern Company

France Relance ISAC

orano

SAFT
a company of
TOTAL



MTB
Manufacture

PAPREC
Energy

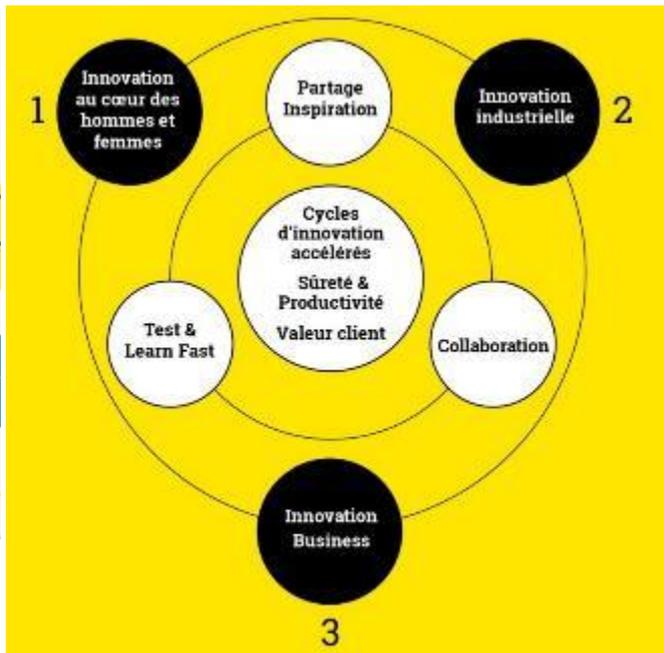
liten
collect



3 piliers structurants pour accélérer les cycles d'innovation @Orano



Diffuser la culture d'innovation



Monde Orano I4.0

[Lien externe : https://i4.0.orano.group/](https://i4.0.orano.group/)



[Lien](#)

Orano innove, au service de la compétitivité du cycle du combustible ...



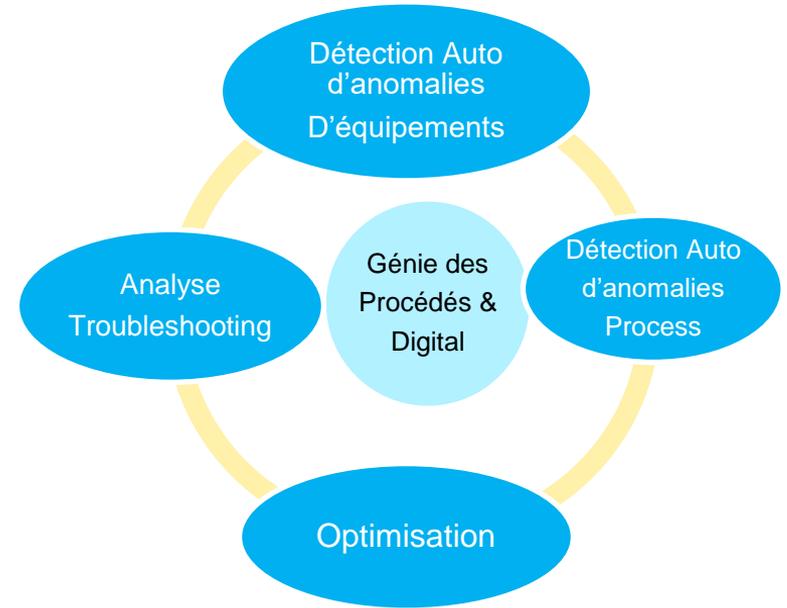
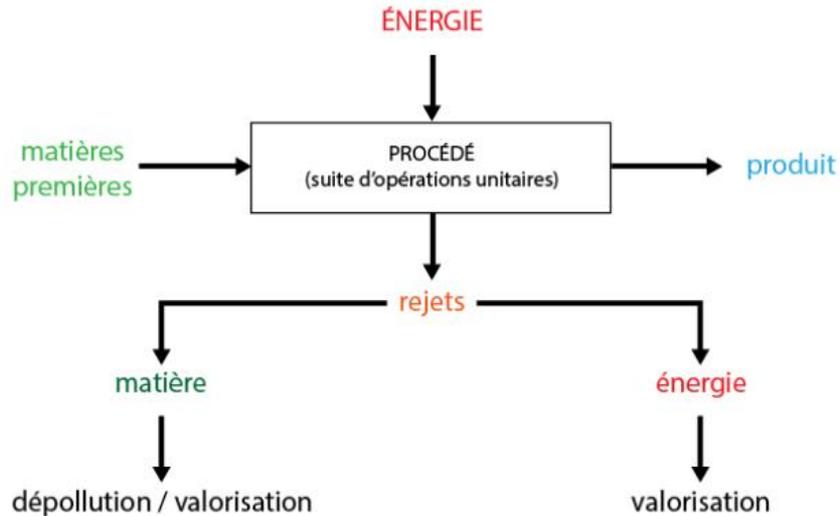
Pour une visite immersive de nos cas d'usages
<https://i4.0.orano.group/>

Sur la base des technologies **I4.0**

- 01** Capteurs intelligents
- 02** Instrumentation, Caractérisation, Mesure nucléaire
- 03** IIoT et réseaux de communication sécurisés
- 04** Analyses de données et Intelligence artificielle
- 05** Modélisation & Simulation 3D+ (jumeau numérique)
- 06** Dispositifs mobiles & collaboratifs dont la réalité augmentée
- 07** Technologies immersives dont la réalité virtuelle
- 08** Robots & drones, autonomes et télé-opérés, Cobotique
- 09** Fabrication additive
- 10** Nouveaux matériaux et revêtements avancés

Vers **IX.0**

Valeur créée par le déploiement des technologies I4.0 pour nos usines



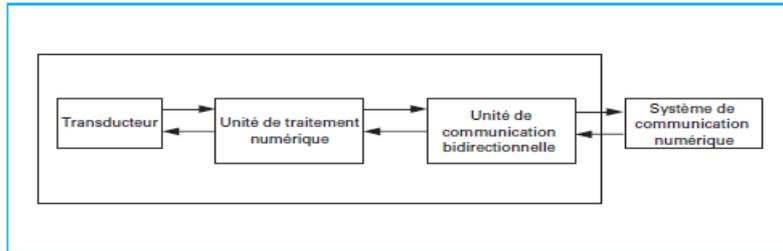
- Amélioration des productivité (rendement, disponibilité, qualité, coûts)
- Efficacité des ressources (durabilité) et amélioration de la sécurité
- Aide à la prise de décision

Sommaire

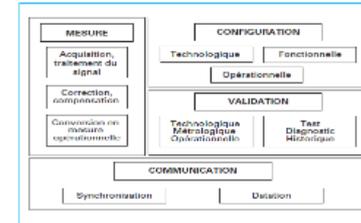
1. Orano @ glance
2. Technologies I4.0 au service de la productivité et de l'aide à la décision
3. **Cas d'usage utilisation du digital sur les procédés Orano**
4. Synthèses et Q&R

Capteurs « intelligents »

Structure du capteur intelligent



Fonctionnalité du capteur intelligent

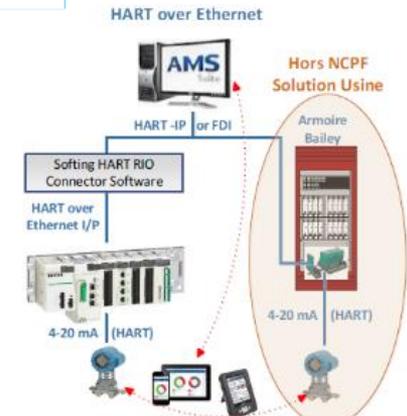


Module de communication: simple 4-20mA Hart à protocole élaboré (Field Network)

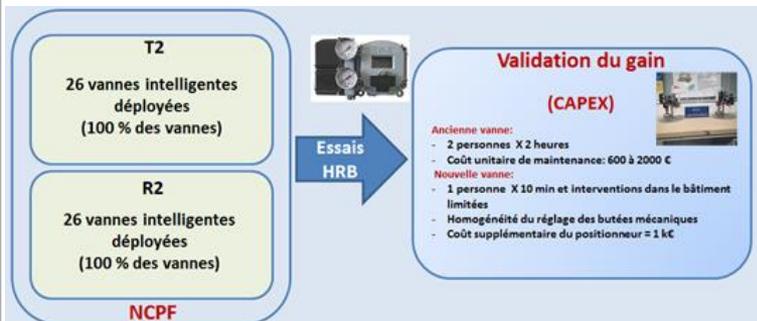
- **Travail à distance**
- **Communication entre plusieurs capteurs**
- **Communication avec DCS/PLC/ outil d'Asset Management**

Module de traitement embarqué

- **Fonction d'auto diagnostic (simple à complexe)**
 - Informations supplémentaires pour la maintenance prédictive (mouvement de vanne, temps de manœuvre ...)
 - Signature vanne de régulation (suivi des dérives et usures des vannes de régulation) pour une maintenance fiable et proactive
- **Décentralisation des algorithmes de traitement (Affichage de la grandeur physique souhaitée)**
 - Permet d'héberger des algorithmes de traitement nécessitant la communication avec d'autres capteurs pour élaborer une grandeur physique souhaitée (Mesure de niveau corrigée par densité)
 - Permet de simplifier et de réduire l'encombrement des armoires I&C



Vannes Intelligentes : health monitoring et bus de terrain



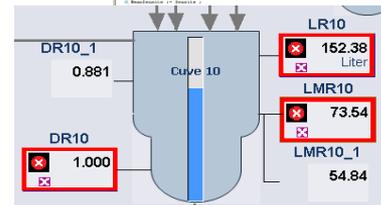
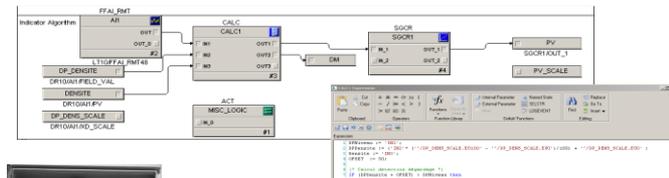
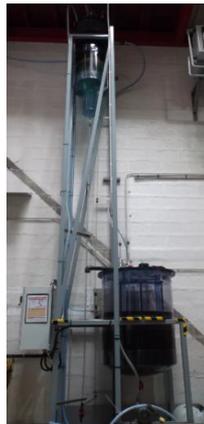
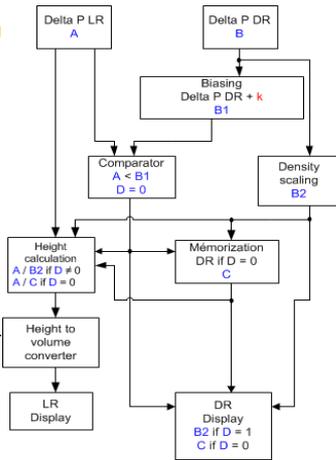
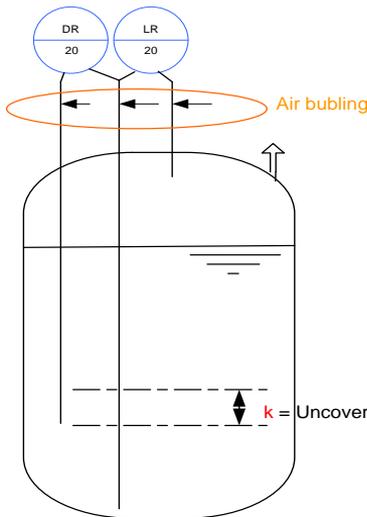
Positionneur numérique



- Réglage des butées min et max
- Signature de vanne
- Historisation et alerte de vieillissement
- Information sur les dérives du procédé et génération d'alertes



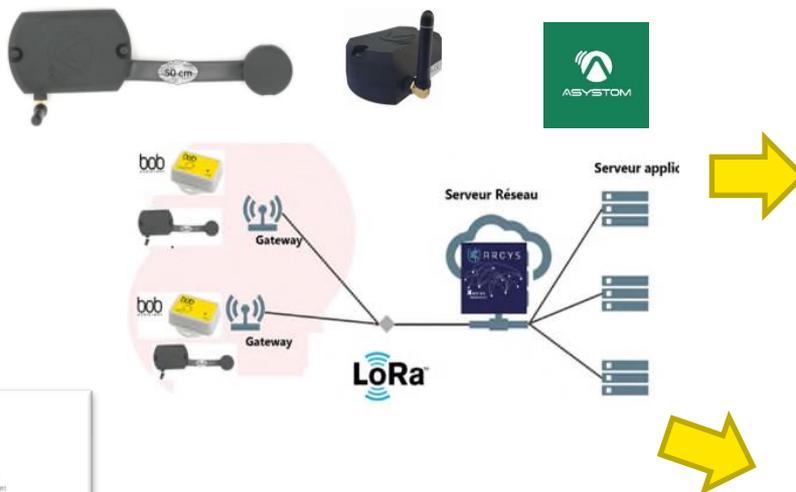
Field Control System : mesure de niveau par densité



Mesure de niveau

- Facilité de mise œuvre (Fieldbus Fondation , deltaV)
- Simplification du process monitoring avec remonté des informations pertinentes (edge computing/FCS)
- Régulation locale complète et autonome

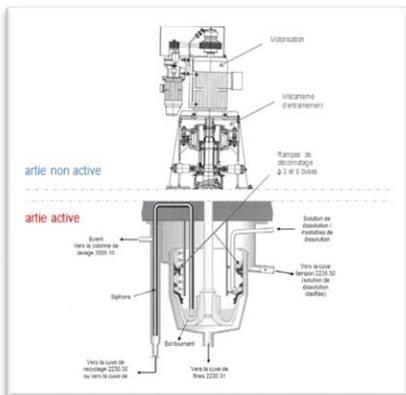
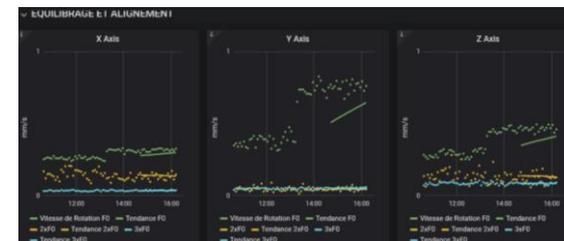
Maintenance prédictive machine tournante : Réseaux sans fil (IIoT) – capteur vibratoire



Indicateurs état roulements



Indicateurs balourd, désalignement d'arbre



- Facilité de mise en œuvre et compatible IIoT Orano
- Surveillance par signature et génération d'alerte
- Analyse spectrale pour identification des composantes responsables 12

Maintenance prédictive: Elévateur de Jarre Melox

Elévateurs de jarres

- Le modèle traite les données et remonte automatiquement les situations avant panne sous forme d'une alerte
 - Libère du temps d'analyse des données
 - Permet de faire le focus sur l'analyse des cas d'alarme
 - Augmente la capacité de prédiction
- Intérêt du sous ensemble élévateur
- Présent sur NHX, NDS, NDP, NDD, NP*, NCH
 - Effet de nombre : Fiabilité du modèle, Rapidité de déploiement

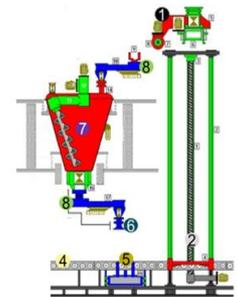
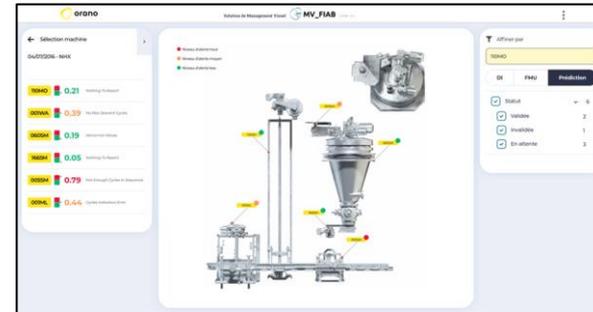
PdR stratégiques : Anticipation Rupture de stock PdR

Phénomènes ciblés complexes » et/ou pannes récurrentes transverses

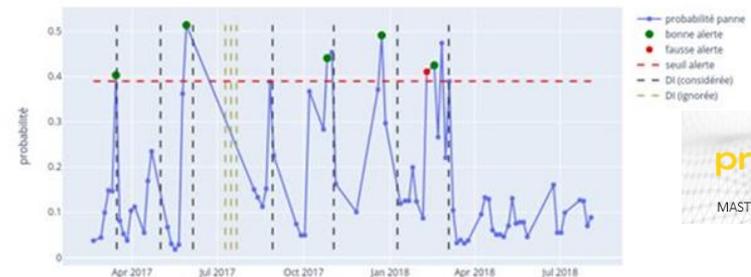
- Cathédrales Fours
- Autres récurrents transverses (NB*, convoyeurs, sous tirage, retourneurs,..)

Management Visuel des Prédictions : Mise à disposition des alertes

- Pour analyse par les ingénieurs Fiabilité
- Pour informer les équipes Maintenance et Exploitation



Evolution de la probabilité de panne, horizon prédiction: 18 jours



Aide à la conduite installation : KAZEM

Site de La Hague



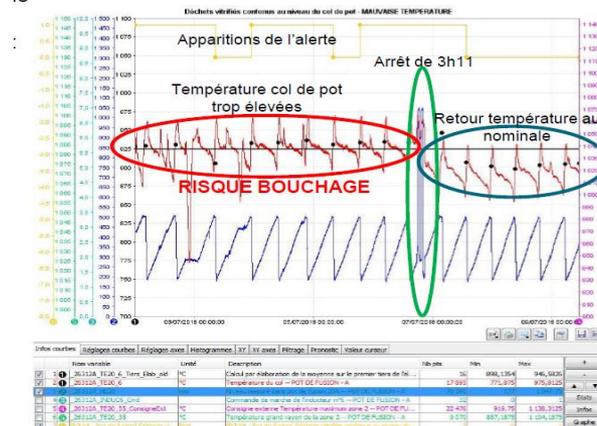
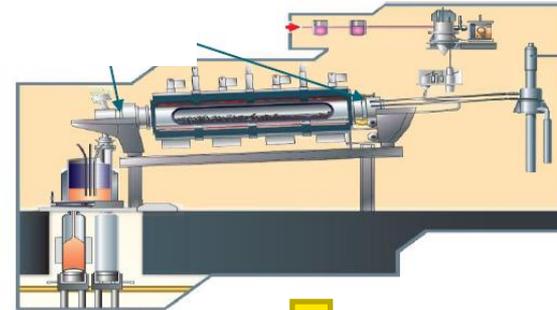
- ~1000 tonnes de combustible recyclé
- Ligne de production : procédé mécanique
- Ligne de production chimie: procédé dissolution
- I&C : 100K points de mesure – pilotage centralisé

Surveillance de ligne de vitrification

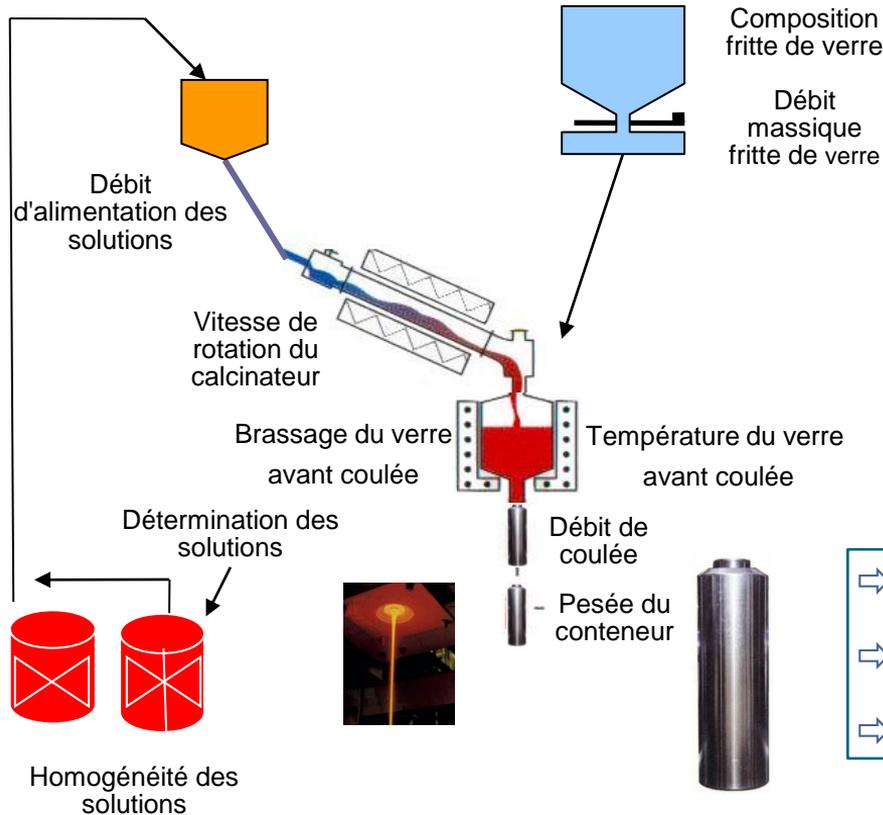
- Optimisation procédé
- Optimisation des interventions
- AMDEC

Gains

- maintenabilité - Détection de dérive pour correction au plutôt
- Disponibilité
- Optimisation des colis



Optimisation procédé : conteneurs de verre de produits de tout en respectant les exigences de sûreté - Vitesse de coulée des CSD-V



paramètres d'intérêt

1. Masse de fines
2. Calcinateur : vitesse de rotation
3. Calcinateur : ratio puissance / débit alimentation
4. Pot de fusion : durée d'affinage
5. Pot de fusion : température
6. Pot de fusion : agitation mécanique

+ interaction « masse de fines / durée d'affinage »

- ⇒ Data Science, Machine Learning
- ⇒ Modélisation
- ⇒ Plans d'expériences

Qualité : Mesure de qualité UF4 en ligne

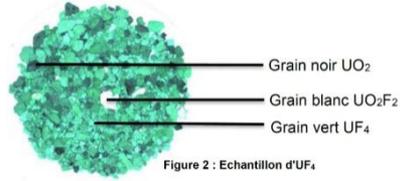
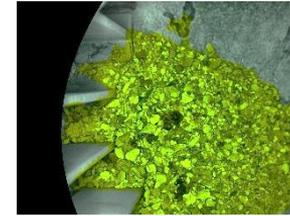


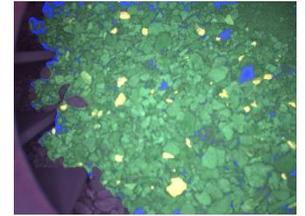
Figure 2 : Echantillon d'UF₄



Collecte de donnée par caméra en ligne de production

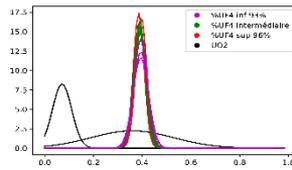
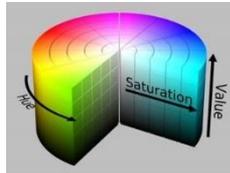


Segmentation du produit

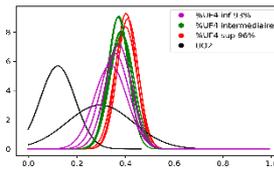


Etiquetage de grains

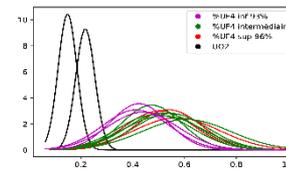
Non conforme	Acceptable	Conforme
$N_{UF4} < 93.5\%$	$93.5\% \leq N_{UF4} \leq 94.5\%$	$N_{UF4} > 94.5\%$



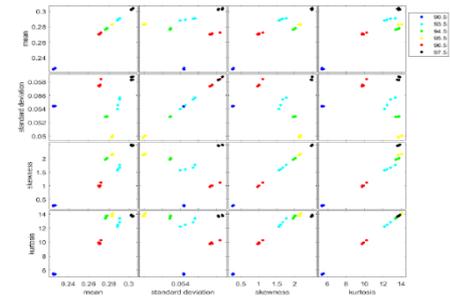
H = HUE = nuance



S = Saturation (0 à 100%)



V = Value (0 à 1)



Résultat d'un algorithme de classification

Optimisation de procédé de tri de déchets

Collecte Donnée par caméra en production



Configuration HAO

Configuration HAO

- ▶ Segmentation des coques
 - Caractérisation / Formes
 - Mesures / Longueurs
- ▶ Réalité augmentée
 - Aide à l'opérateur



Configuration R1-T1

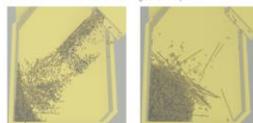
- ▶ Segmentation
 - des coques
 - des autres objets (embouts, grilles, ressorts)
 - dénombrement
- ▶ Localisation 3D de chaque objet
 - Cartographie complète du fût



Méthode de traitement d'images



Traitement d'images classique



Simulation numérique de la répartition des coques



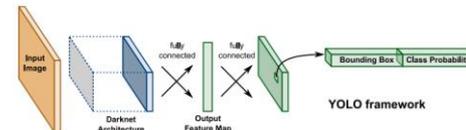
Traitement d'images classique

Deep learning

- ▶ Maquette
 - prototype en milieu inerte
 - Simulants
 - Tests de caméras et d'éclairages
- ▶ Algorithmes d'apprentissage
 - Base de données de vidéos
 - Etiquetage manuel
 - YOLO v5 et v7
 - Traitement d'images classique
 - Programmation Python
 - Ajout d'informations pour l'apprentissage
- ▶ Simulation 2D et 3D des configurations
 - Logiciel Blender
 - Modèle de vidéos en environnement irradiant



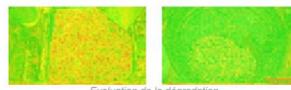
Réalité augmentée et aide opérateur



YOLO est une architecture temps-réel
il réalise en même temps une localisation et une classification



Super-résolution



Evaluation de la dégradation

Super-résolution

- ▶ Deep learning
- ▶ Débruitage
- ▶ Amélioration de confort opérateur

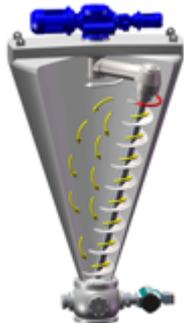
Evaluation automatique de la dégradation

- ▶ Maintenance prédictive
- ▶ Alerte opérateur

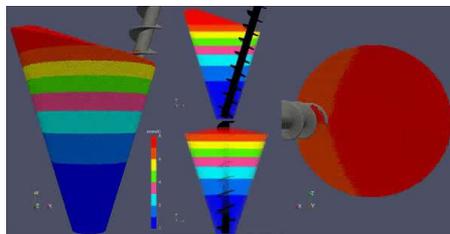


Modélisation d'étape d'homogénéisation industrielle

homogénéité du mélange U, Pu à l'échelle: du lot de poudre MOX ~ 640 Kg et d'une pastille ~ 6g



Nautamix ®



Modélisation d'évaluer l'effet de variations de paramètres du procédé (vitesse de rotation vis/bras, durée de mélange ...) et des caractéristiques des poudres mélangées (granulométrie, densité ...)

Modèle par éléments discrets (DEM)

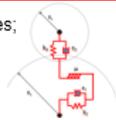
Principe: suivi de la trajectoire des particules;
Bilan des forces sur chaque grain
(description Lagrangienne)

Données d'entrée poudre:

- propriétés physiques macro. des poudres (ex: ρ , μ , diamètre ...)
- forces d'interactions / cohésion entre particules de poudre

Avantage: approche complète, accès à une homogénéité macroscopique et locale (limite taille de particule DEM)

Limite: durée de simulation, nombre de particules (10^{5-6})



Modèle par éléments finis (type CFD*)

Principe: suivi des champs de vitesse;
Phase solide continue « texturée »
(description Eulérienne)

Données d'entrée poudre:

- propriétés physiques macro. des poudres (ex: ρ , μ , diamètre ...)

Avantage: durée de calcul

Limite: pas de prise en compte de la distribution granulométrique des poudres, des forces de cohésion entre particules, Accès à l'homogénéité macroscopique de mélange

* Computational Fluid Dynamic

DEM choisi mais ce n'est pas suffisant pour fournir une réponse dans un délai industriel raisonnable => couplage DEM à l'Intelligence Artificielle + au modèle CFD !



Sommaire

1. Orano @ glance
2. Technologies I4.0 au service de la productivité et de l'aide à la décision
3. Cas d'usage utilisation du digital sur les procédés Orano
- 4. Synthèses et Q&R**

Synthèse et Q&R

- **L'intégration des nouvelles technologies est clé pour être compétitif et améliorer la sécurité de nos opérateurs**
 - **Momentum constant d'évolution des technologies I4.0, en particulier pour le digital, par le monde du B2C et des communautés Opensource**
 - **Capteurs intelligents (précision, communication, autodiagnostic, capacité de traitement)**
 - **Réseaux de communication (M2M, Cybersécurité, robustesse, cout, consommation énergétique, IIoT)**
 - **Capacité de traitement (NLP, ML, Computer Vision) et de modélisation (Jumeau numérique, Multi-échelles, GPU)**
 - **Challenges multiples à adressés pour réussir a déployer une technologie innovante**
 - **Identification technologies à forte valeur ajoutées, sa maitrise et mis en place d'un écosystème (académique, start-up, fournisseur) jusqu'à son déploiement**
 - **Identification des cas d'usage avec le plus forte création de valeur (gain , durabilité)**
 - **Adéquation a résoudre entre l'apport de la technologie et l'impact et l'intégration dans référentiel métier**
 - **Maintien en Condition Opérative (MCO)**
- mise en place de cadre de coopération entre Académique, start up et industriels pour des technologies structurantes et/ou des applications complexes**

Les nouvelles technologies IX.0 ...



... une ambition d'accompagner le groupe vers d'autres horizons dans une démarche de développement durable