

# Mobilité interne AàP: Présentation travaux de recherche

Meriem HAYANI MECHKOURI

# Curriculum Vitae



Professeure à la FST-Tanger au département Génie Mécanique

Membre du laboratoire de recherche I2IMSI dans l'équipe Innovation et Ingénierie

2018 : Docteure en Génie Mécanique et Procédés de Fabrication ENSAM (Meknès) – Maroc / ENSAM-ParisTECH (CER Aix en Provence)

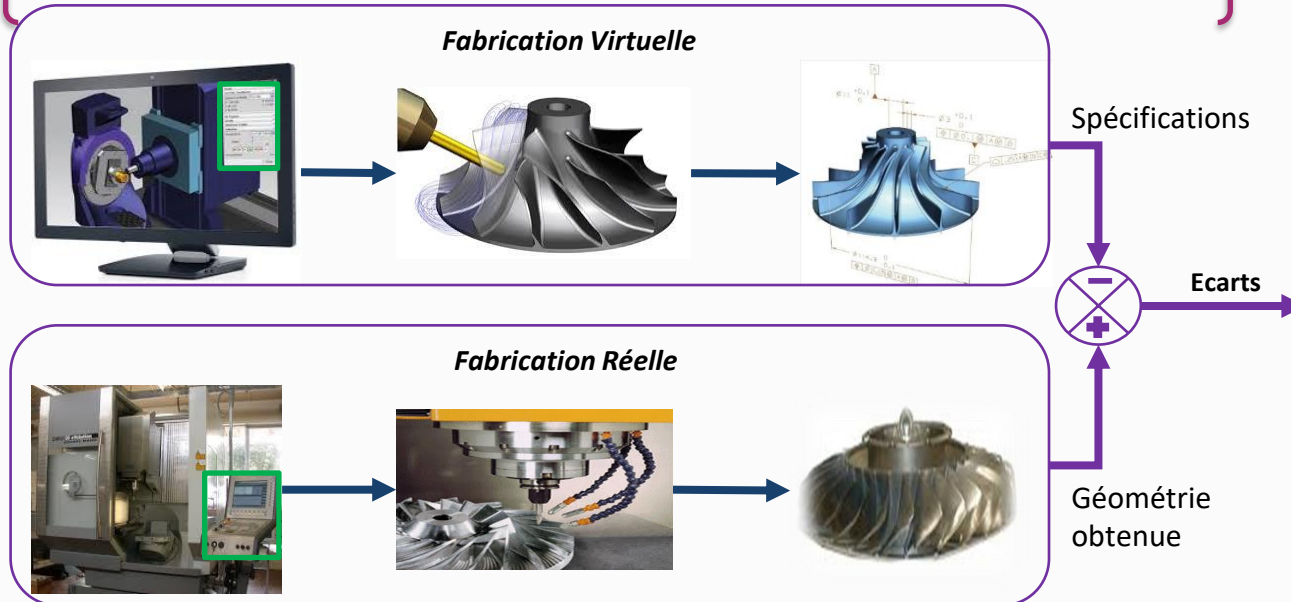
2011: Ingénieure d'Etat en Génie Industriel et Productique – ENSAM (Meknès) – Maroc



**Axes de recherche** : Fabrication soustractive, Fabrication Additive, Comportements vibratoires, Systèmes CFAO, Industrie 4.0, Maintenance prédictive (PHM, PPP), Application des IoT

## Projet Ingénierie Numérique des Systèmes Mécaniques INSM

Objectif : Maîtrise des processus de développement du produit et de ses comportements



**Constat :** Manque d'outils de prédiction de comportement dynamique de processus d'usinage intégrés aux systèmes CFAO

**Mots clés :** Comportement dynamique, usinage, fraisage, CFAO

## Projet Ingénierie Numérique des Systèmes Mécaniques INSM

**Objectif :** Maîtrise des processus de développement du produit et de ses comportements

### Thèses axées sur le produit de la fabrication par usinage:

**Thèse 1 :** Etude du comportement du système « Piece – outil – machine » en régime de coupe vibratoire

**Thèse 2 :** Intégration des comportements vibratoires dans les systèmes CFAO

**Thèse 3 :** Contrôle des phénomènes vibratoires en usinage

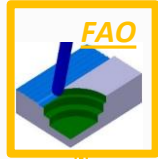


Conditions de coupe		
Avance [mm/tr]	Engagement [mm]	Fréquence de rotation [tr/min]
0,15	1,5	3000
0,2	1	15000
$f_z$	$b$	$N$
.	.	.
.	.	.
.	.	.
0,1	2	9000

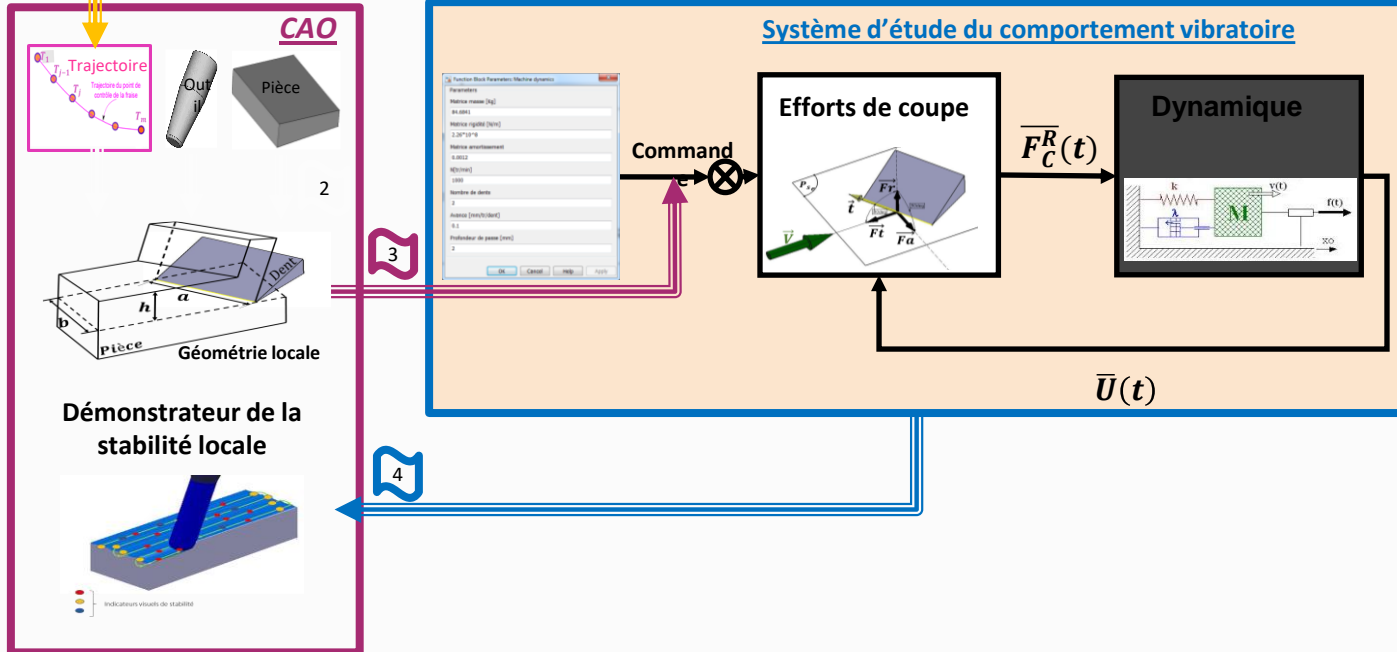
$f_z, b, N$

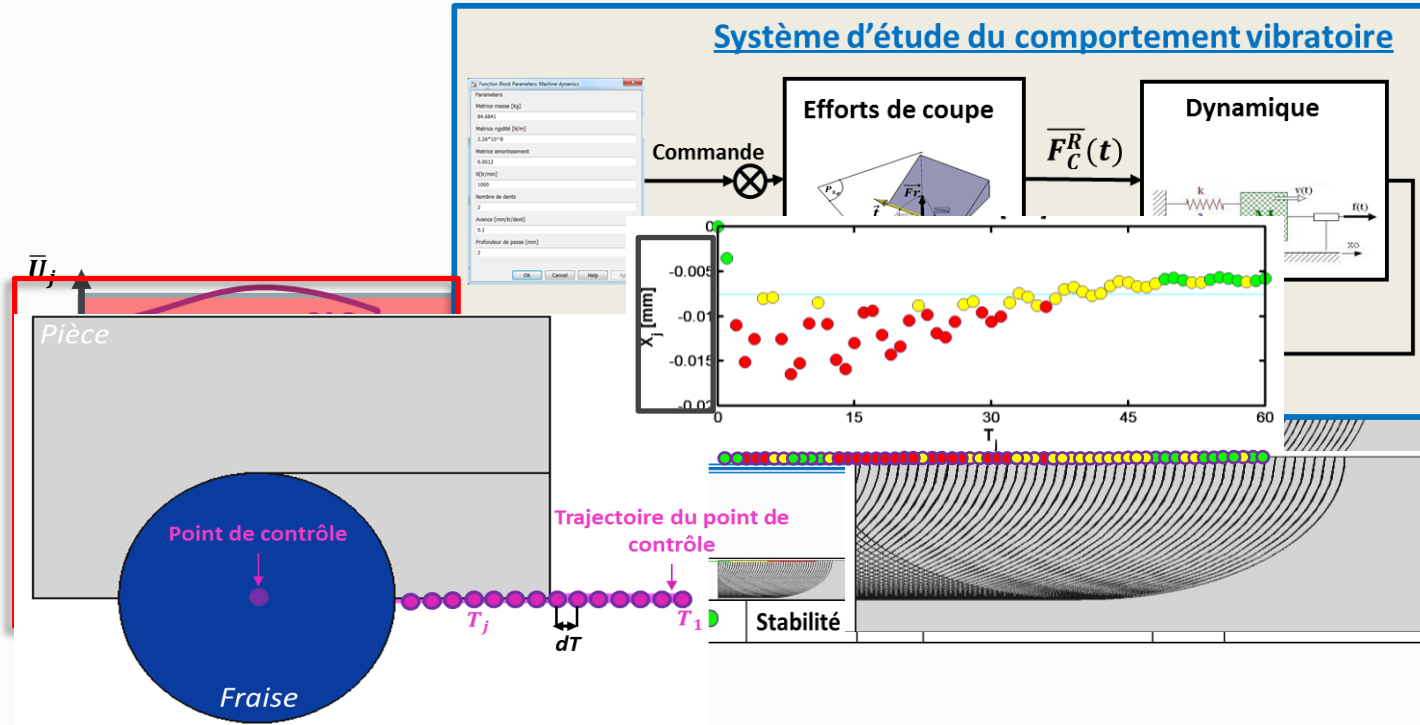


- **Objectif industriel** : Développement d'un démonstrateur du comportement vibratoire d'un système usinant « Pièce – Outil »
- **Objectif recherche** : Développement d'une approche intégrée aux systèmes CFAO pour la prédiction du comportement vibratoire d'un système usinant en fraisage

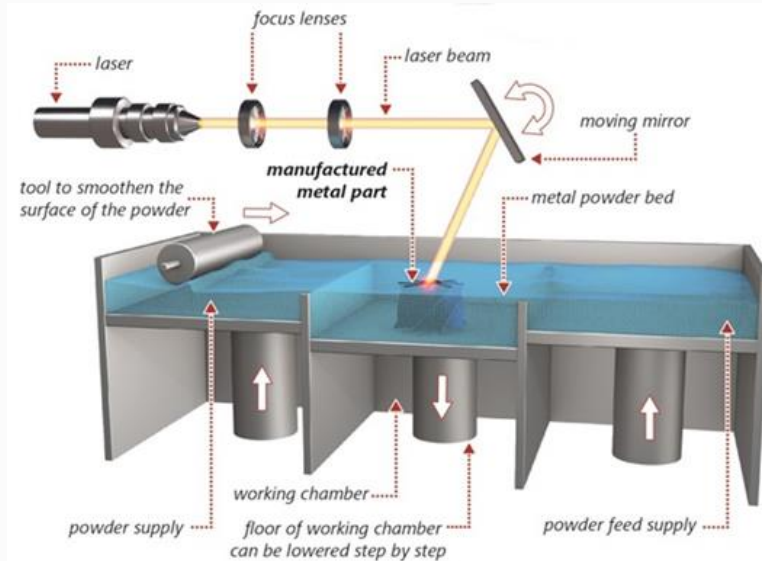


1. Construction de la **Trajectoire** en CAO à partir de la FAO
2. Simulation de l'interaction **Outil / Pièce** sur les points de la **Trajectoire**
3. Extraction de la géométrie locale du copeau
4. Détermination de la stabilité du système usinant





## Recyclage des poudres issues d'une fabrication additive par SLM

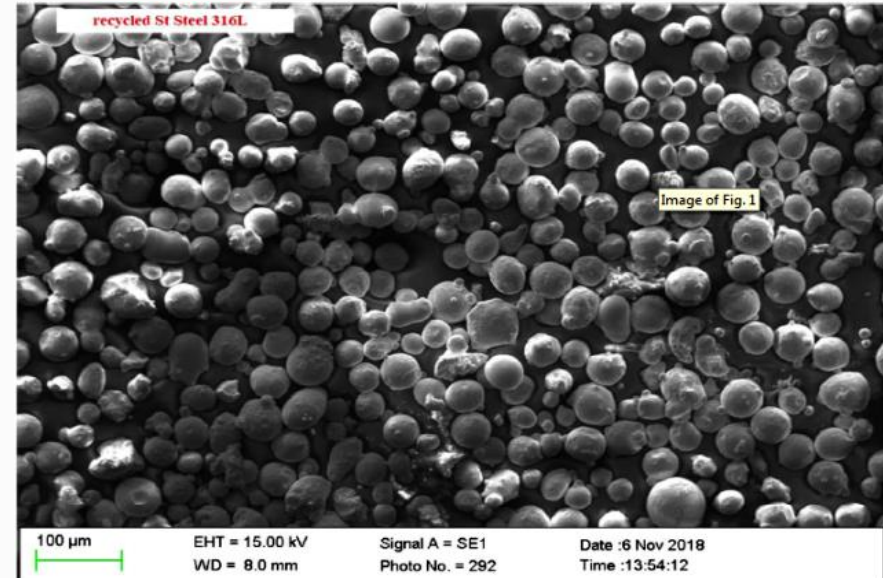
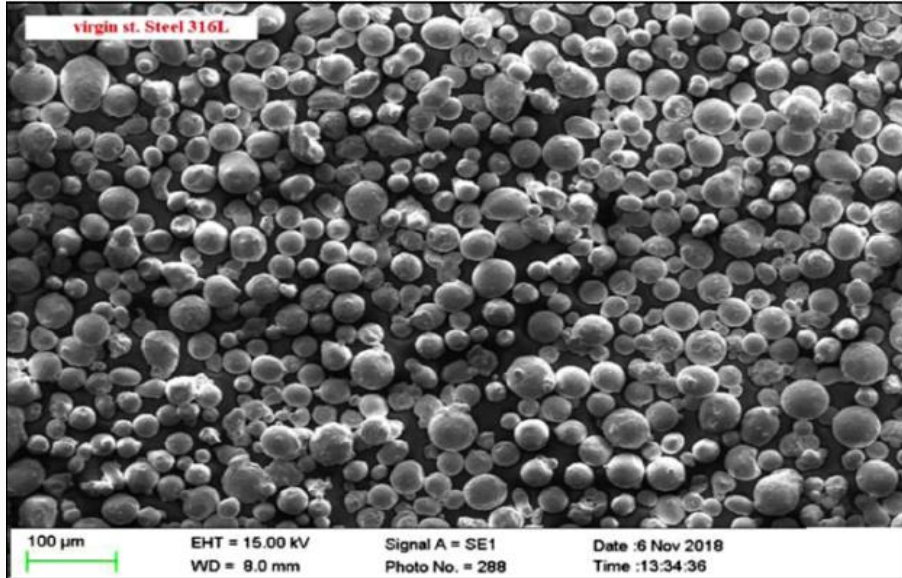


La fabrication additive par fusion sélective au laser (SLM) est un procédé avancé qui permet de créer des pièces tridimensionnelles complexes à partir de poudres métalliques ou d'autres matériaux.

La réutilisation des poudres non fondues représente l'un des avantages les plus significatifs du processus SLM (Selective Laser Melting), conférant ainsi une économie substantielle tout en favorisant la préservation environnementale. Les particules de poudre qui n'ont pas été incorporées dans le composant final sont systématiquement récupérées



## Recyclage des poudres métalliques issues de la fabrication SLM



Images MEB de poudres SST316L vierges (à gauche) et recyclées (à droite) sur le site 100 µm

Cette poudre, après avoir subi de multiples cycles d'utilisation dans le processus de fusion sélective par laser, a révélé son utilité exceptionnelle. Les investigations se sont concentrées sur la composition chimique de la poudre, sa morphologie, ainsi que la distribution des tailles de particules.

## Recyclage des poudres métalliques issues de la fabrication SLM

Conditions	$R_m$ (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	$A_{rupture}$ (%)
	//Z		
Poudre neuve*	665,4	489,9	29,3
Recyclée 5 fois sans tamisage*	499,8	436,3	13,8
Poudre neuve**	600	450	43
Recyclée 30 fois avec tamisage**	587	449	50

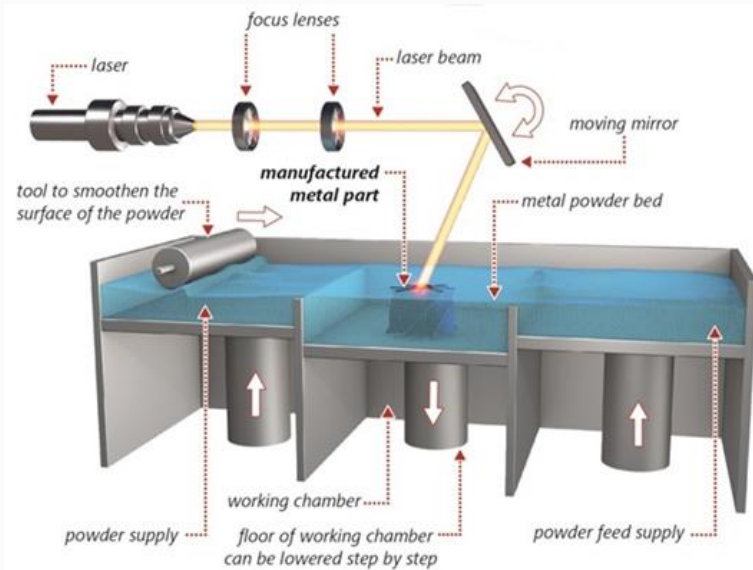
La ductilité, la limite d'élasticité et la résistance mécanique maximale sont stables quelle que soit la poudre utilisée. Le tamisage permet de filtrer les « mauvaises » particules et « impuretés » des poudres réutilisées qui auraient pu mener à une dégradation des propriétés mécaniques.

La poudre recyclée présente beaucoup plus de satellites et de particules liées par fusion.

\*Y. Liu, Y. Yang, S. Mai, D. Wang, C. Song, Investigation into spatter behavior during selective laser melting of AISI 316L stainless steel powder, Mater. Des. 87 (2015) 797–806.

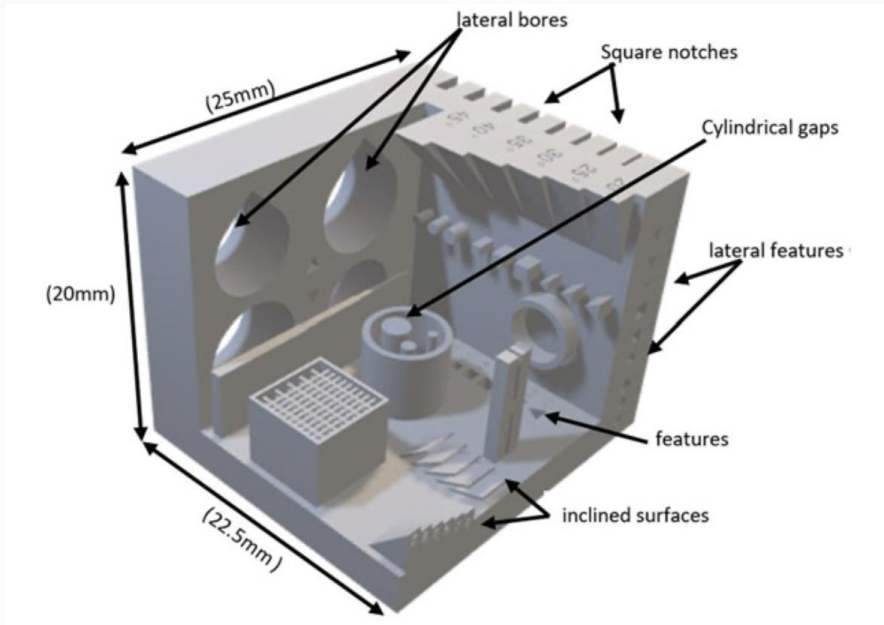
\*\* M.J. Heiden, L.A. Deibler, J.M. Rodelas, J.R. Koepke, D.J. Tung, D.J. Saiz, B.H. Jared, Evolution of 316L stainless steel feedstock due to laser powderbed fusion process, Addit. Manuf. 25 (2019) 84–103

## Artefact de référence géométrique pour les machines et processus SLM



La fusion sélective par laser (SLM) est devenue largement utilisée dans les domaines de la biomédicale et de l'aérospatial. La SLM consiste à fusionner sélectivement des poudres métalliques pour produire des pièces de forme proche de la géométrie souhaitée, avec une densité quasi totale (jusqu'à 99,9% de densité relative). Néanmoins, le procédé de fabrication SLM possède ses propres spécificités et contraintes dont il est nécessaire de tenir compte au cours de la phase de conception pour tirer pleinement profit des avantages qu'il offre.

## Artefact de référence géométrique pour les machines et processus SLM



- Ces contraintes sont d'ordre géométrique et métrologique.
- Ce travail de recherche consiste à concevoir, fabriquer et valider un artefact de référence pour l'évaluation géométrique des machines et processus de fabrication additive par SLM tout en prenant en considération les exigences de tolérance géométrique identifiées par la norme ISO

## Intégration de la PHM dans les systèmes embarqués dans les machines rotatives

**Maintenance prévisionnelle (*Predictive Maintenance*) :** *ISO/TR 9839:2023(en) Road vehicles — Application of predictive maintenance to hardware with ISO 26262-5*

« Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation des paramètres significatifs de la dégradation du bien. » *EN 13306 (Avril 2001)*

« Maintenance conditionnelle exécutée suite à une prévision obtenue grâce à une analyse répétée ou à des caractéristiques connues et à une évaluation des paramètres significatifs de la dégradation du bien. » *EN 13306 (Janvier 2018)*

**Predictive maintenance :** “ techniques that are used to detect *degrading faults*, predict *remaining useful life*, and react appropriately”

Note 1 to entry: Approaches include the use of data driven methods such as machine learning applied locally or on a remote system.

Note 2 to entry: Prediction of *remaining useful life* can be used to replace a faulty element before it can cause an error or failure.

**Maintenance predictive (*Predictive maintenance*) :** “ *Maintenance Preventive faisant appel aux techniques utilisées pour détecter les dégradations et l'usure, prédire le RUL afin de réagir proprement*”

## Intégration de la PHM dans les systèmes embarqués dans les machines rotatives

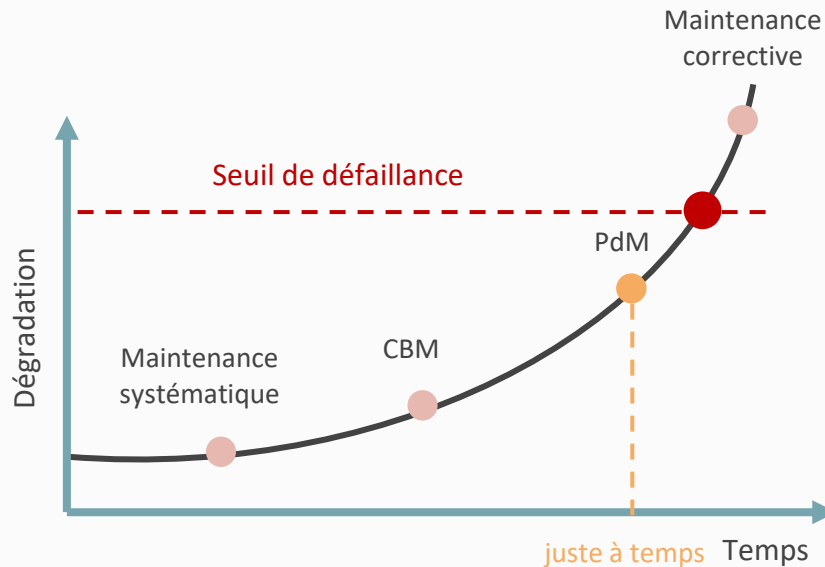
- La maintenance prédictive est dite préventive car elle est opérée avant la défaillance.
- La maintenance prédictive est basée sur une surveillance permanente de l'état de santé du bien pour pronostiquer son RUL.

PHM (Prognostics and Health Management) → PdM (Predictive Maintenance)

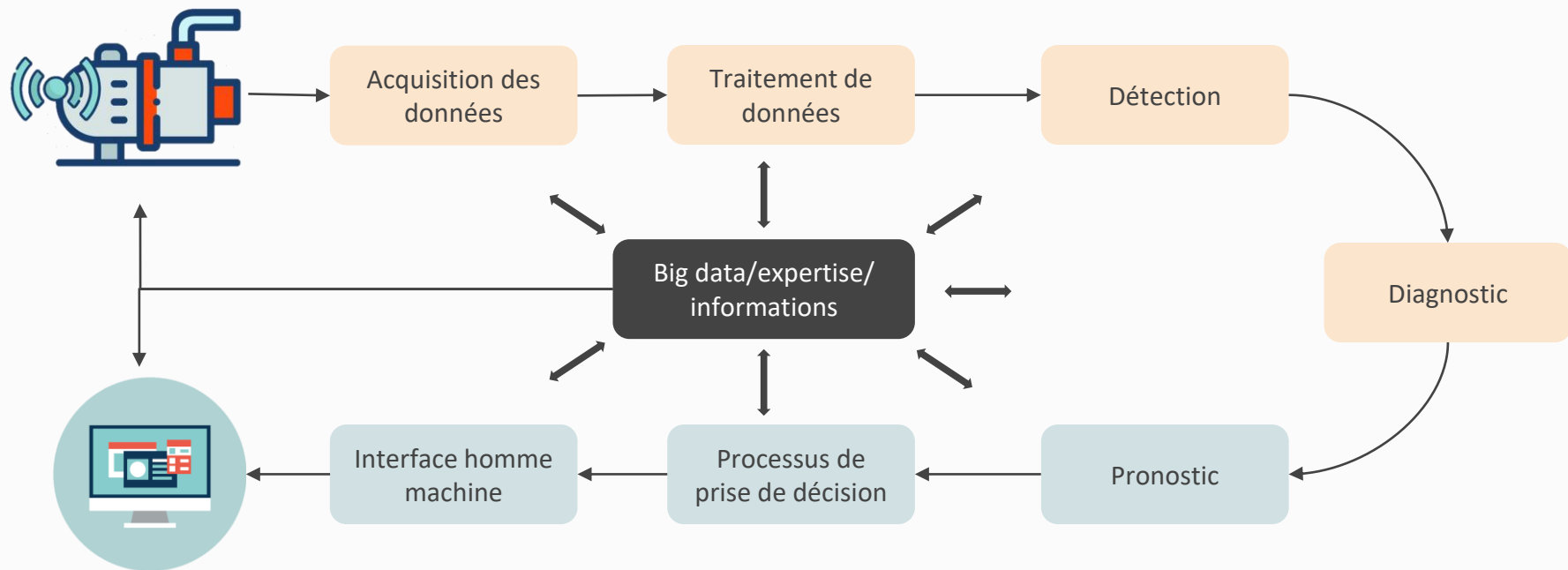
La maintenance conditionnelle → CBM (Condition Based Maintenance)

« *Maintenance préventive qui inclut l'évaluation des conditions physiques, l'analyse et les éventuelles actions de maintenance qui en découlent* » **EN 13306**  
(Janvier 2018) \*

\* Note 1 à l'article : L'évaluation des conditions peut être effectuée par observation réalisée par l'opérateur et/ou inspection et/ou essais et/ou surveillance de l'état des paramètres système, etc. et menée selon un programme, sur demande ou en continu.

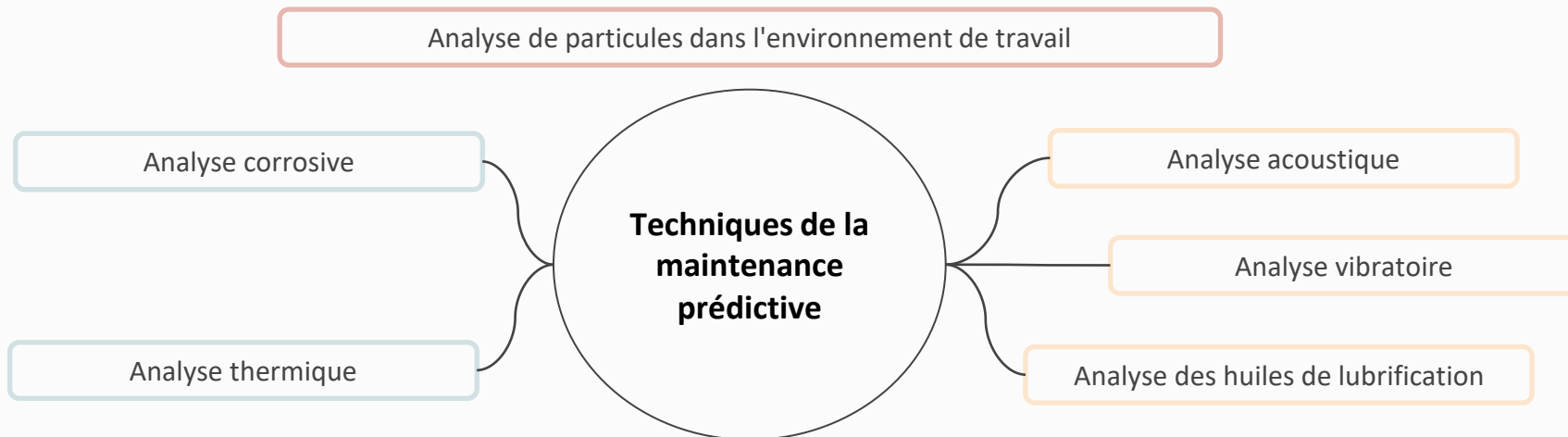


# Intégration de la PHM dans les systèmes embarqués dans les machines rotatives



## Intégration de la PHM dans les systèmes embarqués dans les machines rotatives

Il existe un large éventail de paramètres qui peuvent être surveillés pour la maintenance prédictive, certains des plus importants étant \* :





## Intégration de la PHM dans les systèmes embarqués dans les machines rotatives

Analyse de l'état de santé

Maintenance prédictive

Prédiction du RUL

Développer une approche générale d'aide à la prise de décisions basées sur les données dans un environnement embarqué :

**Le diagnostic intelligent d'état des machines tournantes par l'analyse vibratoire pour détecter et suivre la dégradation**



**La prédiction du temps de fonctionnement restant avant défaillance**

problématique

# Exploitations avicoles : Prédiction des conditions environnementales des poulaillers « Poultry-Edge-AI-IoT »

