









**Le contrôle non-destructif  
pour la fabrication additive  
en normalisation nationale et internationale**

Anne-Françoise Obaton Dr/HDR  
Chercheur en métrologie pour la fabrication additive  
Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE), Paris  
Laboratoire Commun de Métrologie LNE-CNAM (LCM)  
French National Metrology Institute (NMI)  
anne-francoise.obaton@lne.fr



## Contexte

**La fabrication additive (FA) métallique investit la production industrielle dans des secteurs critiques (aérospatial, médical)**

**Dans ces secteurs critiques, l'intégrité des pièces doit être démontrée afin que les pièces soient certifiées**

**⇒ Besoin en contrôle qualité et de la métrologie, en premier lieu des évaluations non-destructives (END)**

END pour évaluation non-destructive, ou CND pour contrôle non-destructif, ou NDT pour « non-destructive testing » en anglais



# La chaine de fabrication additive (FA)

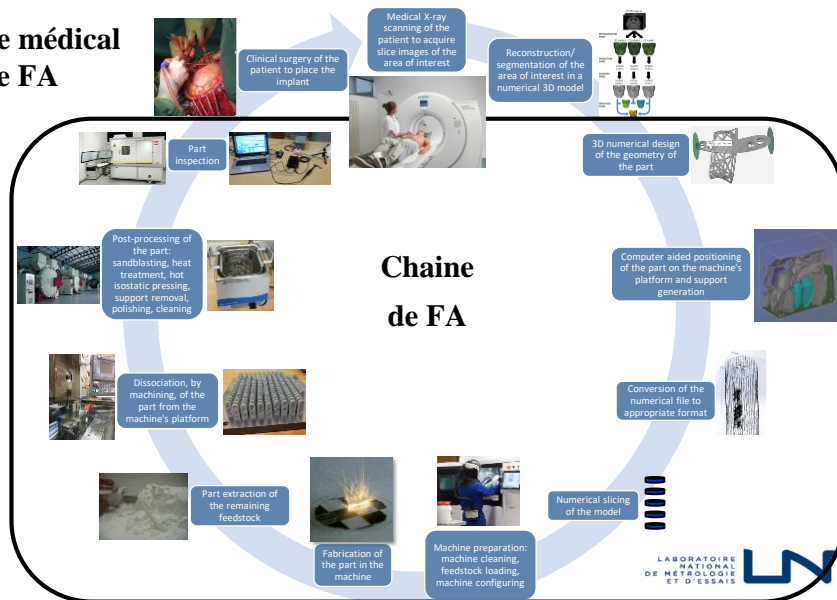
Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens

Anne-Françoise Obaton-LNE



3

## Chaîne médical de FA





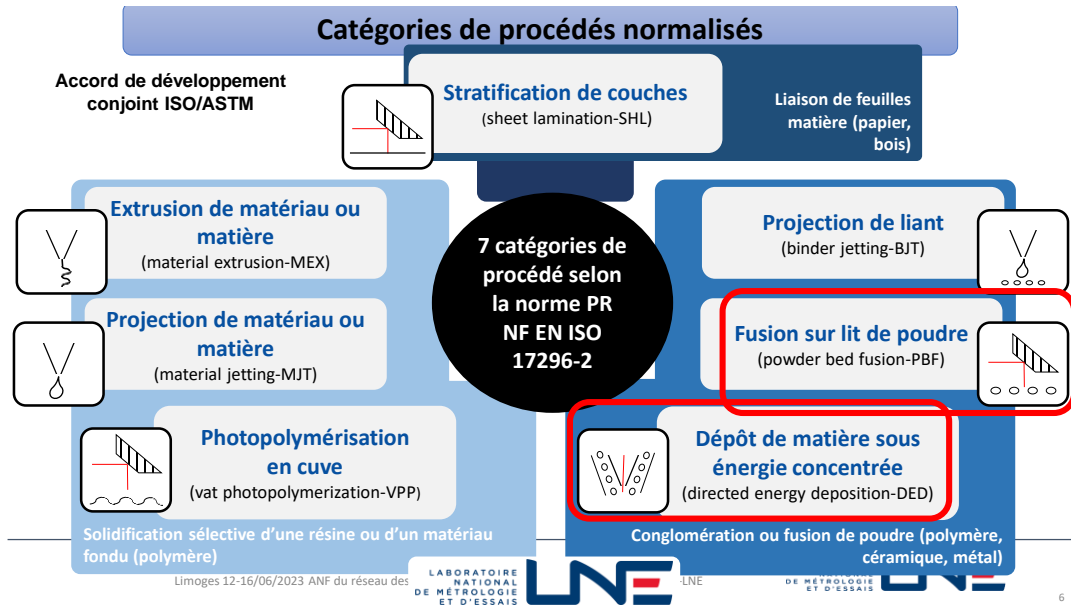
## Les catégories de procédés

Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens

Anne-Françoise Obaton-LNE

le **cnam**  
LABORATOIRE  
NATIONAL  
DE MÉTROLOGIE  
ET D'ESSAIS **LNE**

5





## Le contrôle qualité le long de la chaîne de FA

Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens

Anne-Françoise Obaton-LNE



7

### Contrôle qualité nécessaire le long de la chaîne de FA <sup>n</sup>

- Contrôle de la machine de FA
- Contrôle des fichiers numériques
- Contrôle de la matière première
- Contrôle in-situ de la fabrication de chaque couche
- **Contrôle de la pièce finale**

Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens

Anne-Françoise Obaton-LNE



8



## Le contrôle de la pièce finale

Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens

Anne-Françoise Obaton-LNE



9

### Besoins en contrôle qualité post-processus du cycle de FA

**Des méthodes élaborées et de routine, de préférence non-destructives (END ou CND), sont nécessaires pour évaluer l'intégrité des pièces :**

- **contrôle santé-matière**
- **détection de défauts**
- **déviations géométriques**
- **métrologie**

**adaptées à des formes complexes, contenant des structures internes,  
adaptées à des pièces de toutes tailles, et de forte rugosité.**

END pour évaluation non-destructive, ou CND pour contrôle non-destructif, ou NDT pour « non-destructive testing » en anglais

Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens

Anne-Françoise Obaton-LNE



10



## La normalisation en END/CND et confédération française pour les essais non-destructifs (COFREND)

END pour évaluation non-destructive, ou CND pour contrôle non-destructif, ou NDT pour « non-destructive testing » en anglais

Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens

Anne-Françoise Obaton-LNE



11

### Normalisation internationale en END pour la FA

**JG59 « Non-destructive testing (NDT)  
for additive manufacturing (AM) parts »  
de l'ISO/TC 261 & ASTM F 42 dédié à la fabrication additive (FA)  
Convenor: Ben Dutton du MTC (UK)**



UNM 920 organisation de suivi au niveau français



Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens

Anne-Françoise Obaton-LNE



12

## Travail en cours dans le JG59

### Terminé mais en attente à cause de crédit photo

E 67-302	CEN ISO/ASTM TR 52905	Fabrication additive de métaux - Essais et évaluation non destructifs - Détection de défauts dans les pièces
----------	-----------------------	--

### En cours

E 67-304	EN ISO/ASTM 529XX	Fabrication additive - Evaluation et essais non destructifs – Classification des défauts dans les pièces métalliques obtenues par LBF
----------	-------------------	---

## Travail réalisé dans le JG59

### FD CEN ISO/ASTM TR 52906 - Juin 2022

Fabrication additive - Essais non destructifs - Implantation intentionnelle de défauts dans les pièces métalliques



ISO  
ISO/ASTM TR 52906:2022 (MAIN)

Additive manufacturing – Non-destructive testing – Intentionally seeding flaws in metallic parts

## 1 - Domaine d'application

Le présent document est destiné à servir de bonne pratique pour l'identification et "l'implantation" de répliques de défauts détectables de manière non destructive par les procédés PBF et DED en alliage métallique. Trois catégories d' implantation sont décrites:

- a. les défauts du procédé par la conception CAO;
- b. la manipulation des paramètres de fabrication;
- c. la fabrication soustractive.

## Normalisation ASTM en NDE

XCT

### ASTM E07 Commitee on Nondestructive Testing

Staff manager: Kristy Straiton de l'ASTM (US)

- E07.01 Radiology (X and Gamma) Method
- E07.02 Reference Radiological Images
- E07.03 Liquid Penetrant and Magnetic Particle Methods
- E07.04 Acoustic Emission Method
- E07.05 Radiology (Neutron) Method
- E07.06 Ultrasonic Method
- E07.07 Electromagnetic Method
- E07.08 Leak Testing Method
- E07.09 Nondestructive Testing Agencies
- E07.10 Specialized NDT Methods
- E07.11 Digital Imaging and Communication in Nondestructive Evaluation (DICONDE)
- E07.90 Executive
- E07.92 Editorial Review
- E07.93 Illustration Monitoring
- E07.95 Long Range Planning
- E07.96 Awards
- E07.99 Liaison

RUS

**Pas spécifiquement dédiée à la FA mais le FA y occupe une place importante**



Tomographie à rayons X (XCT pour X-ray computed tomography)  
Spectroscopie par résonance ultrasonore (RUS pour resonant ultrasound spectroscopy)

Obaton-LNE



15

Réunion bisannuelle  
aux USA

## Travail, relatif à la FA, réalisé à l'ASTM E07



ASTM E3166-20e1 ⓘ

**Standard Guide for Nondestructive Examination of Metal Additively Manufactured Aerospace Parts After Build**



Travail, relatif à la FA, en cours à l'ASTM E07.01



# Standard practice for controlling CT dimensional measurement performance by using Representative Quality Indicators (RQIs)

Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens

Anne-Françoise Obaton-LNE



17

## Confédération française pour les essais non destructifs-Groupe technique FA-CND



**cofrend**

**Review of additive manufacturing standards and proposal to speed up development of NDT ISO/ASTM standards**

NDT Additive Manufacturing COFREND working group

D. Chauveau<sup>1</sup> – P. Bouvet<sup>2</sup> – A-F. Obaton<sup>3</sup> – C. Grosjean<sup>4</sup>  
 A. Noël<sup>5</sup> – F. Scandella<sup>1</sup> – C. Bourlet<sup>1</sup>

1 – Institut de Soudure 2 – CTIF 3 – LNE 4 – CETIM 5 – Vallourec

**IS**  
Institut de Soudure  
Sylvie BITTENDIEBEL

A grid of logos for various member organizations, including CETIM, Vallourec, LNE, and others. The logos are arranged in several rows and columns.



18

## Confédération française pour les essais non destructifs-Groupe technique FA-CND



TOME 1



Guide en 5 tomes :

**Tome I** : il recense les normes existantes & en préparation dans le domaine de la fabrication additive et du CND - terminologie, procédés de fabrication, essais, qualification, critères d'acceptation... Il contient des propositions pour accélérer la normalisation ainsi que deux documents prénormatifs concernant la défectologie.

**Tome II** : il décrit les principaux procédés de FA métallique et composite (collaboration avec le GT composite), et les compare

**Tome III** : il décrit les techniques CND utilisables post fabrication sur les pièces finies et donne leur domaine d'application ainsi que leurs avantages et limites (exploitation des résultats des essais croisés en cours de réalisation sur des pièces fournies par les partenaires du GT) - résultats sur des cas d'usage.

**Tome IV** : il passe en revue les points de vigilance pour établir les procédures de contrôle (en intégrant la problématique des caractéristiques mécaniques et métallurgiques des pièces en fonction des procédés de FA). Pour les techniques CND les plus pertinentes, il donne des recommandations pour la rédaction d'une procédure de contrôle (et passera si possible en revue les critères d'acceptation et les démarches qualité déployées par les industriels – initialement prévu dans le tome 2)

*Note : La partie tomographie exploitera les travaux communs réalisés avec le GT tomographie, notamment vis-à-vis de la définition des tomographies de référence*

**Tome V** : il décrit les capacités des techniques CND applicables en ligne et les possibilités offertes par le monitoring des process de fabrication.

Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens

Anne-Françoise Obaton-LNE



19



## Investigation de méthodes de NDE

Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens

Anne-Françoise Obaton-LNE



20

## “Star artefact” du JG59 avec des défauts typiques de la FA

AM only type of defects ranging from 200 µm to 800 µm:

- R4:** Cross layer defects (vertical cylinders of different diameters but same length, connected by small link for releasing powder at the largest diameter cylinder);
- R1 and R2:** Layer defects (horizontal cylinders of different diameters but same length. Open end to release powder);
- R3 and R5:** Unconsolidated/trapped powder (spheres of different diameters, cylinders in various orientation-300 µm);

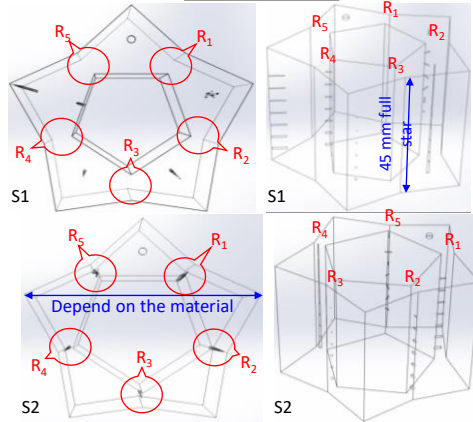
(voids and porosities have shown relative coverage by current NDT standards)

Defect location into critical areas:

- Critical locations;
- Hard to reach areas;
- Close to surface.



2 conceptions

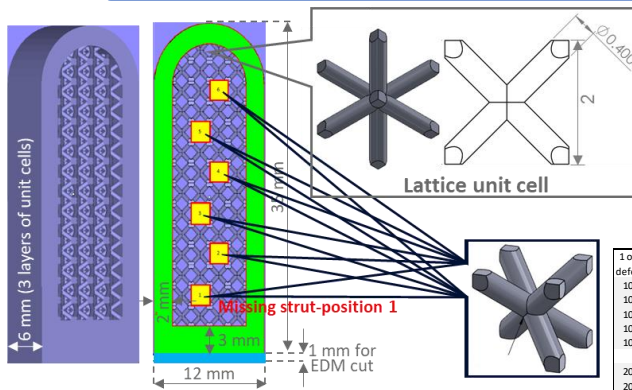


A-F. Obaton, B. Butsch, S. McDonough, E. Carceff, N. Laroche, Y. Gaillard, J. Tarr, P. Bouvet, R. Cruz, A. Donmez, “Evaluation of Nondestructive Volumetric Testing Methods for Additively Manufactured Parts”. In Structural Integrity of Additive Manufactured Parts”, N. Shamsaei, S. Daniewicz, N. Hirabe, S. Beretta, J. Waller, and M. Seifi, West Conshohocken, PA, pp 51–91, 2020, <https://doi.org/10.1520/STP162020180099>, <https://www.astm.org/stp162020180099.html>



21

## Lattices avec un nombre variable de branches manquantes



A-F Obaton was a guest researcher at NIST (Gaithersburg) from Nov. 2017 until Nov. 2018 and in August 2019.

1 out	2 out	4 out	6 out	8 out	10 out	12 out	1 inner	2 inner	4 inner	6 inner
defect	defect	defect	defect	defect	defect	defect	defect	defect	defect	defect
101	106	111	116	120	130	140	150	160	170	180
102	107	112	117	121	131	141	151	161	171	181
103	108	113	118	122	132	142	152	162	172	182
104	109	114	119	123	133	143	153	163	173	183
105	110	115	210	124	134	144	154	164	174	184
205	195	190	200	185	175	165	125	135	145	155
206	196	191	201	186	176	166	126	136	146	156
207	197	192	202	187	177	167	127	137	147	157
208	198	193	203	188	178	168	128	138	148	158
209	199	194	204	189	179	169	129	139	149	159

A-F. Obaton, Y. Wang, B. Butsch, Q. A. Huang, “Non-Destructive Resonant Acoustic Testing and Defect Classification of Additively Manufactured Lattice Structures”, Weld World, 65, 361–371, 2021, <https://doi.org/10.1007/s40194-020-01034-7>.

Anne-Françoise Obaton-LNE



22

## Fabrication additive de pièces avec des défauts simulés pour investiguer différentes méthodes de CND



- 94 star artefacts en inox issues de 2 plateformes différentes
- 88 half sizes (h=22.5 mm, a=30 mm) :
- 20+20 sans défaut
  - 20+20 conception S2 avec un nombre différent de défauts
  - 4+4 conception S1 avec un nombre différent de défauts
- 6 full sizes (h=45 mm, a=60 mm) :
- 2+2 conception S2
  - 1+1 conception S1



Fusion laser sur lit de poudre (powder bed fusion-laser beam, PBF-LB)

EOS default parameters used		
Parameters/material	CoCr	SS
Laser power (W)	290	220.1
Laser speed (mm/s)	950	755.5
Hatch spacing (mm)	0.11	0.11
Layer thickness (µm)	40	40

A-F Obaton was a guest researcher at NIST (Gaithersburg) from Nov. 2017 until Nov. 2018 and in August 2019.

Anne-Françoise Obaton-LNE



- 210 structures lattices en CoCr :
- 100 lattices sans branche manquante
  - 110 lattices avec un nombre différent de branches manquantes externes ou internes



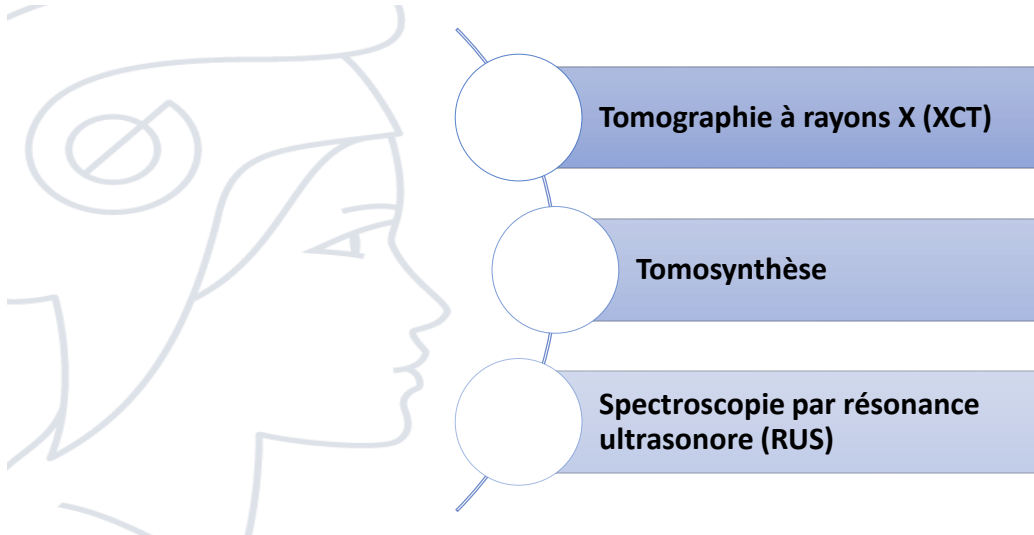
23

## Investigated NDT methods for Additive Manufacturing (AM)

1. Ressuage (Penetrant testing) babbbc
2. Thermographie infrarouge (Infrared thermography) THERMIMAGE
3. Courant de Foucault (Eddy current) selesoria
4. Contrôle par ultrason (Ultrasonic testing) OKOS
5. Ultrasons multi-éléments (Phased array ultrasonic testing)-Plane wave imaging (PWI)/Total focusing method (TFM) TPAC
6. Pesée hydrostatique et pycnométrie à gaz (Archimedes' method and gas pycnometry)
7. Radiographie film et numérique (Film (RT) and computed (CR) radiography) MISTRAS
8. Spectrométrie et tomographie Térhertz (THz spectrometry and tomography) ims
9. Tomographie micro-onde (Microwave tomography) FRESNEL
10. Tomographie informatisée (X-ray computed tomography (XCT)) PIB BAM
11. Tomosynthèse (Tomosynthesis) XRIS
12. Spectroscopie par résonance ultrasonore (Resonant ultrasound spectroscopy (RUS)) SONELASTIC THE MODAL SHOP GrindoSonic Polytec Vibrant rte PennState



J.-B. Perraud, A.-F. Obaton, J. Bos-Schiman, B. Recur, H. Bahary, F. Durack, J.P. Guillet and P. Monant, "Thz imaging and tomography as efficient instruments for testing polymer additive manufacturing objects", *Applied Optics*, Vol. 55, Issue 13, pp. 3462-3467, 2016, <https://doi.org/10.1364/AO.55.033462>  
A.-F. Obaton, M.-Q. Li, V. Prazin, D. Marbo, P. Dehaut, A. Hasko, S. Senck, E. Maire and C. Cayton, "Investigation of new volumetric non-destructive techniques to characterize additive manufacturing parts", *Weld World*, Vol. 62, Issue 5, pp. 1049-1057, 2018, <https://doi.org/10.1007/s40194-018-0292-7>  
A.-F. Obaton, "Overview of the EMER Project: Metrology for Additively Manufactured Medical Implants", *Emater*, 2019, <https://www.emater.eu/knowledge-base/AM10102019/>  
J. Whigg, P. Borges de Oliveira, A.F. Obaton, M. Schwenstein, K. Ribner, J. Ginter, "Defect Detection in Additively Manufactured Lattices", *Open Ceramics* 1(10)20, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.opceram.2020.100020>  
E. Carreffi, N. Laroche, A.-F. Obaton, "Review of ultrasonic testing for metallic additive manufactured parts", *Additive Manufacturing Design and Applications*, Vol.24A, *ASM Handbook*, ASM International, 2022.



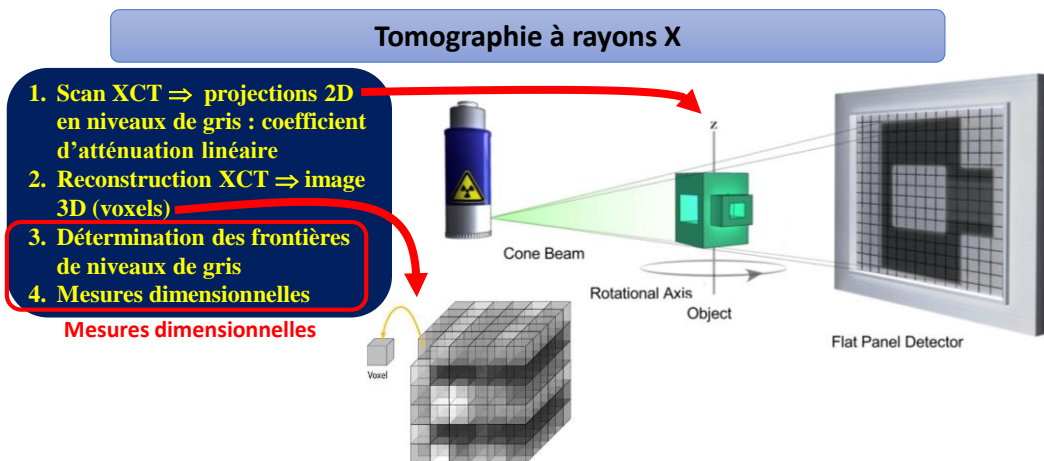
Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens

Anne-Françoise Obaton-LNE

le **cnam**  
LABORATOIRE NATIONAL  
DE MÉTROLOGIE  
ET D'ESSAIS

**LNE**

25



A-F. Obaton, J. Fain, M. Djemaï, D. Meinel, F. Léonard, E. Mahé, B. Lécuelle, J.-J. Fouchet, G. Bruno, "In vivo XCT bone characterization of lattice structured implants fabricated by additive manufacturing: a case report", *Helvion* 3, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.helivon.2017.e00374>

F. Kim, A. Pintar, J. Fox, J. Tarr, A. Donmez, A-F. Obaton, "Merging Experiments and Computer Simulations in X-Ray Computed Tomography Probability of Detection Analysis of Additive Manufacturing Flaws", *NDT&E International*, Vol. 119, April 2021, 102416, <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2021.102416>

A-F. Obaton, Y. Gaillard, P. Bouvet, O. Guiraud, S. Genot, L. Gay, "Evaluation of image quality metrics on a Co-Cr additively manufactured part", submitted to *ndt.net* the 16/12/2022, <https://www.ndt.net/?id=27712>

## Tomographie à rayons X

### Avantages de la méthode

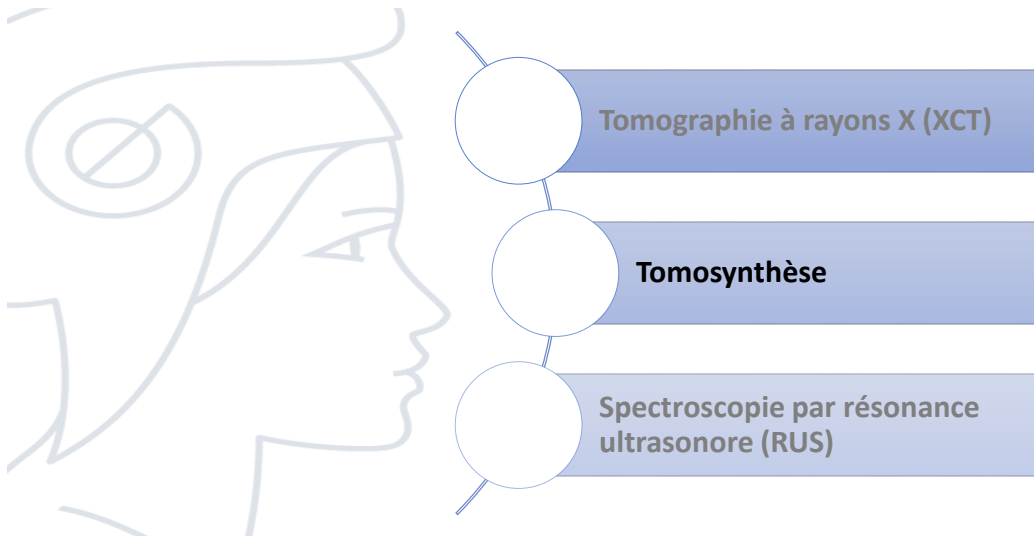
- Adaptée aux formes complexes
- Adaptée à une forte rugosité
- Détection et localisation des défauts
- Grande résolution spatiale
- Mesures dimensionnelles

### Désavantages de la méthode

- Limitée par la taille et la densité des pièces
- Opérateur expérimenté
- Chère
- Longue
- Fichiers lourds

### XCT : méthode de référence pour la FA, mais nécessité :

1. Qualification métrologique des XCT
2. Méthodes alternatives pour les pièces larges et denses, et pour le contrôle de routine



**Tomosynthèse pour les pièces denses et larges**

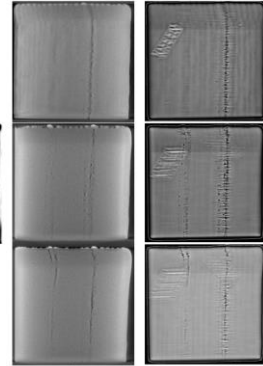
Scans performed by Damien Koch and Joachim Coline



Pièce en acier fabriquée par DED-Arc parts



Radiographie



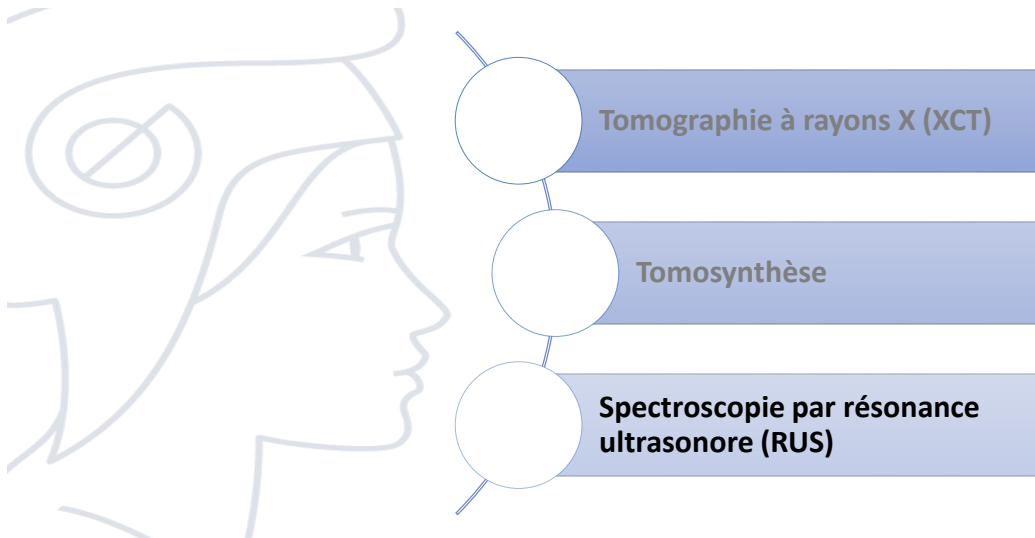
XCT

Tomosynthèse

- Meilleure probabilité de détection que la radiographie
- Par comparaison à l’XCT :**
- Images 2D à différentes profondeurs dans la pièce au lieu d’une image 3D, mais :
- Méthode adaptée aux pièces, telles que des murs, ne pouvant pas être inspectée par XCT ;
- Méthode plus rapide et moins chère.

Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens

A-F. Obaton, D. Koch, J. Coline, D. Flotte, "Tomosynthesis for large additive manufacturing parts", ECNDT2023, Lisbon, Portugal, 03-07/07/2023. submitted to indnet the 01/02/2023



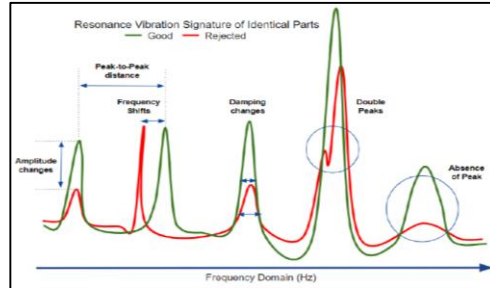
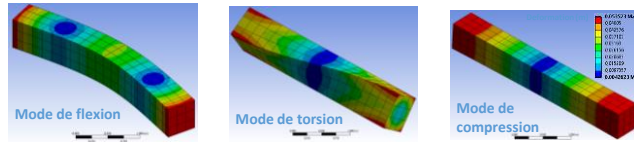
## Spectroscopie par résonance ultrasonore (RUS)

Méthode de contrôle non-destructif **volumique globale** consistant :

1. à exciter et à enregistrer, dans le domaine acoustique et/ou ultrasonore, le spectre des modes propres de vibration de la pièce ;
2. A comparer ce spectre à ceux de pièces de référence, ou de pièces de la même famille, ou de simulations

Tout **décalage en fréquence** entre ces spectres est la signature d'une différence de la pièce testée.

⇒ La méthode permet donc de classer les pièces comme acceptables ou inacceptables, ou en fonction de leurs propriétés intrinsèques.



A.-F. Obaton, "Resonant Ultrasound Spectroscopy Testing Methods in Additive Manufacturing", *Additive Manufacturing Design and Applications*, Vol 24A, *ASM Handbook*, ASM International, 2022, <https://doi.org/10.31399/asm.bb.v24A.a0006953>

Obaton-LNE

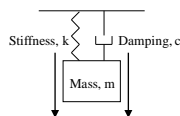
le **cnam**  
LABORATOIRE NATIONAL  
DE MÉTROLOGIE  
ET D'ESSAIS **LNE**

31

## Spectroscopie par résonance ultrasonore (RUS)

Les fréquences de résonance sont liées à :

1. la géométrie de la pièce
2. la densité de la pièce
3. l'élasticité de la pièce
4. l'intégrité structurelle externe et interne de la pièce (défauts)



Selon la norme ASTM E2001, RUS comprends deux types de méthodes :

1. swept sine methods
2. impulse excitation methods (IEM).

### Avantages des méthodes RUS

- Adaptée aux formes complexes
- Adaptée à une forte rugosité
- Adaptée aux pièces larges et denses
- Rapide
- Facile à utiliser

### Désavantages des méthodes RUS

- Méthodes globales
- Méthodes par comparaison

A.-F. Obaton, "Resonant Ultrasound Spectroscopy Testing Methods in Additive Manufacturing", *Additive Manufacturing Design and Applications*, Vol 24A, *ASM Handbook*, ASM International, 2022, <https://doi.org/10.31399/asm.bb.v24A.a0006953>

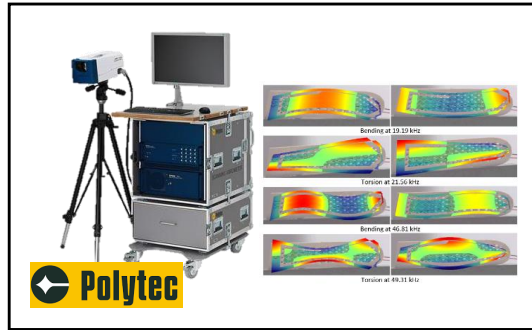
Obaton-LNE

le **cnam**  
LABORATOIRE NATIONAL  
DE MÉTROLOGIE  
ET D'ESSAIS **LNE**

32



**Systèmes commerciaux "swept sine" investiguées en collaboration**

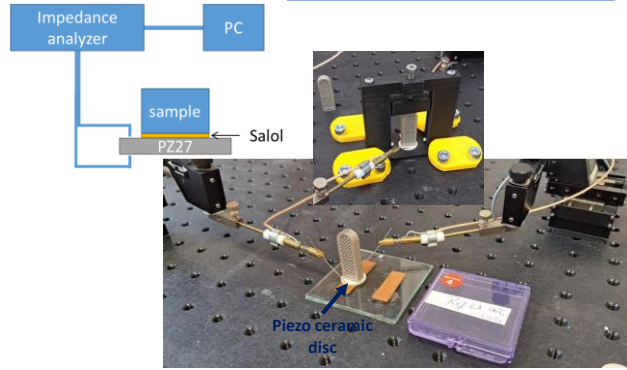


A.-F. Obaton, A. Van den Bossche, O. Burnet, B. Butsch, I. Zouggarh, F. Soulard, and W. Johnson, "Novel or Improved NDE Inspection Capabilities for Additively Manufactured Parts", Additive Manufacturing 2020, ed. N. Shamsaei and M. Seifi (West Conshohocken, PA: ASTM International, STP1637, 2022), <https://doi.org/10.1520/STP163720200096>



33

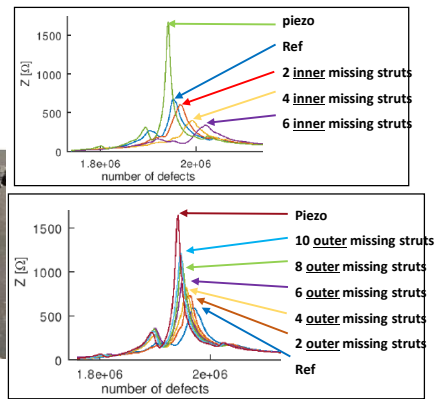
**Méthode de laboratoire "swept sine" bas coûts : mesures d'impédance**



**INSA** INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES CENTRE VAL DE LOIRE

**GREMAN** matériaux microélectronique acoustique nanotechnologie

**Experiments performed by Maxime Bavencoffe**

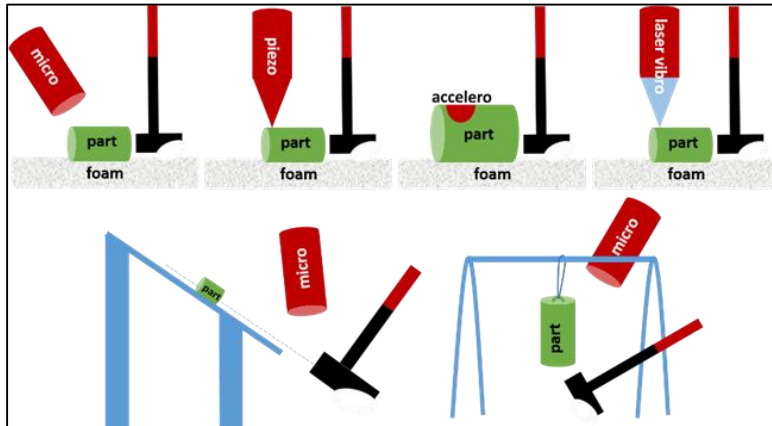


➤ Classification des pièces en fonction de leurs branches manquantes externes et internes.

Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens Anne-Françoise Obaton-LNE



## Impulse excitation method (IEM)-RUS



Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens

Anne-Françoise Obaton-LNE

le cnam  
LABORATOIRE  
NATIONAL  
DE MÉTROLOGIE  
ET D'ESSAIS



36

## Approbation récente de la norme relative aux méthodes IEM



**E07**  
**Nondestructive Testing**

**E07.06**  
**Ultrasonic Method**

### Skeleton Draft

#### Standard Practice for Resonance Testing Using the Impulse Excitation Method

##### 1. Scope

1.1 This practice describes a general procedure for using Impulse Excitation Method (IEM) to measure natural frequencies and detect defects and material variations in metallic and non-metallic parts. This test method is also known as Impulse Excitation Technique (IET), Acoustic Resonance Testing (ART), Resonant Acoustic Method (RAM), ping testing, tap testing, and other names. IEM is a type of Resonance Ultrasound Spectroscopy (RUS) method. The method applies an impulse load to excite and then record resonance frequencies of a part. These recorded resonance frequencies are compared to a reference population or within subgroups/families of examples of the same part and/or modeled frequencies.

Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens

Anne-Françoise Obaton-LNE

le cnam  
LABORATOIRE  
NATIONAL  
DE MÉTROLOGIE  
ET D'ESSAIS



37

## Dénomination controversée

Selon la norme ASTM E2001, RUS comprends deux types de méthodes :

1. swept sine methods
2. impulse excitation methods (IEM).

**Abstain with comment**

Ballot Number:	E07.06(23-01)	Close Date:	MARCH 26, 2023
Item Number:	001	Practice for Resonance Testing Using the Impulse Excitation Method WK81106 (REFERENCE Z2722Z)	
Member's Name:	George W Rhodes	TECHNICAL CONTACT: Steve H James gotmiles@hotmail.com (805) -20-8-28	
Address:	Rhodes Scientific, LLC		
Phone Nr:	8977147	Fax Nr:	5052412485
Email Address:	grhodes@swcp.com		
File Attachment:			
Statement:			

**Section**

**Statement**

While I understand the working group's approval of the proposed standard, due to the citation of an equipment article containing a reference to impulse excitation, as an RUS method. That is technically incorrect. I have learned that the authors; Balakirev and Migliori did not pay any attention to the inclusion. When E-2001 comes up for revision, I will include them in a working group (along with John Sarrao of LANL) to ensure this oversight is corrected.

Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens

Anne-Françoise Obaton-LNE



38

## Systèmes commerciaux "IEM" investiguées en collaboration



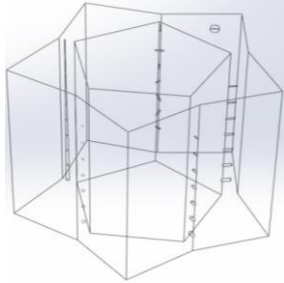
A.-F. Obaton, A. Van den Bossche, O. Burnet, B. Butsch, I. Zougarh, F. Soulard, and W. Johnson, "Novel or Improved NDE Inspection Capabilities for Additively Manufactured Parts", Additive Manufacturing 2020, ed. N. Shamsaei and M. Seifi (West Conshohocken, PA: ASTM International, STP1637, 2022), <https://doi.org/10.1520/STP163720200096>



39

### Tri de pièces denses, défectueuses, par rapport à un lot de pièces de référence

ISO/TC261-ASTM/F42-IG59 "NDT for AM parts"



THE MODAL SHOP  
MTS SYSTEMS CORPORATION



Pièces denses, en inox, contenant un nombre variable de caractéristiques internes, conçues dans le modèle numérique, pour simuler des défauts

- Les pièces avec défauts ont été identifiées de celles de référence
- Les pièces n'ont pu être classifiées en fonction du nombre de défauts qu'elles contenaient

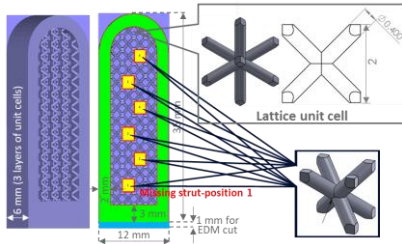
A.-F. Obaton, B. Butsch, E. Carcreff, N. Laroche, J. Tarr, A. Donnez, "Efficient Volumetric Non-Destructive Testing Methods for Additively Manufactured Parts", *Weld World*, Vol.64, Issue 8, pp. 1417-1425, 2020, <https://doi.org/10.1007/s40194-020-00932-0>.

Obaton-LNE



40

### Tri de lattices en fonction du nombre de branches manquantes



Number of missing struts and location	1 out	2 out	4 out	6 out	8 out	10 out	12 out	1 in	2 in	4 in	6 in
1 out			100%	100%	100%	100%	100%				
2 out			90%	90%	100%	100%	100%				
4 out	100%	90%		80%	70%	80%	100%	100%	90%	90%	10
6 out	100%	90%	80%				100%	90%	90%	90%	
8 out	100%	100%	70%				70%	100%	90%	100%	100%
10 out	100%	100%	80%				100%	90%	100%	100%	100%
12 out	100%	100%	100%		70%			100%	10	100%	100%
1 in	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%				
2 in		90%	90%	90%	90%	100%					
4 in		90%	90%	100%	100%	100%					
6 in		100%	90%	100%	100%	100%					

THE MODAL SHOP  
MTS SYSTEMS CORPORATION

Structures lattices, en cobalt-chrome (Co-Cr), avec un nombre variable de branches manquantes, conçues dans le modèle numérique, pour simuler des défauts



- Les lattices avec des branches manquantes ont été identifiées de celles de référence
- Les lattices ont pu être classifiées en fonction de leur nombre de branches manquantes, mais pas systématiquement

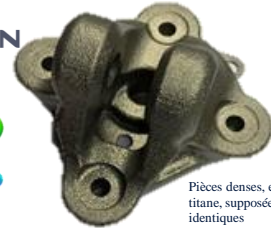
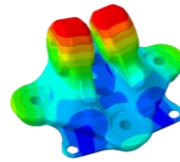
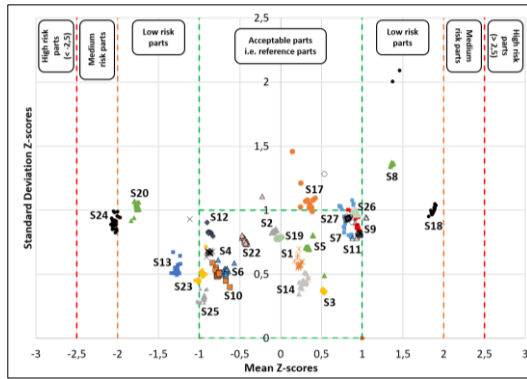
A.-F. Obaton, Y. Wang, B. Butsch, Q. A. Huang, "Non-Destructive Resonant Acoustic Testing and Defect Classification of Additively Manufactured Lattice Structures", *Weld World*, 65, 361-371, 2021, <https://doi.org/10.1007/s40194-020-01034-7>.

Anne-Françoise Obaton-LNE



41

## Classification de pièces denses et larges supposées identiques



Pièces denses, en titane, supposées identiques

- Les pièces situées dans l'intervalle  $[-1, 1]$  se comportent de manière similaire à toutes les fréquences  $\Rightarrow$  Elles devraient avoir des propriétés et des dimensions similaires.
- Les décalages vers les basses fréquences sont dus à un défaut ou à de faibles propriétés mécaniques.
- Les décalages vers des fréquences plus élevées sont attribués à la taille des grains, aux contraintes résiduelles, ou aux variations dimensionnelles.

A.-F. Obaton, N. Fallahi, A. Tanich, L-F. Lafon, G. Weaver, 'Statistical analysis and automation through machine learning of resonant ultrasound spectroscopy data from tests performed on complex additively manufactured parts, submitted to Journal for Nondestructive Evaluation on 18/10/2022.

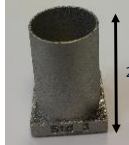


42

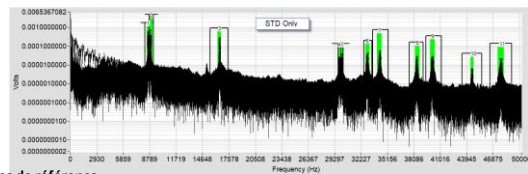
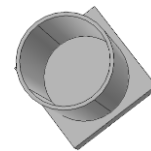
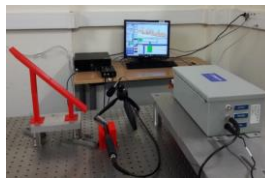
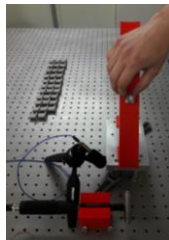
## Classification de pièces denses en fonction des paramètres machine



Pièces en Inconel 625



11 lots  
3 pièces par lot

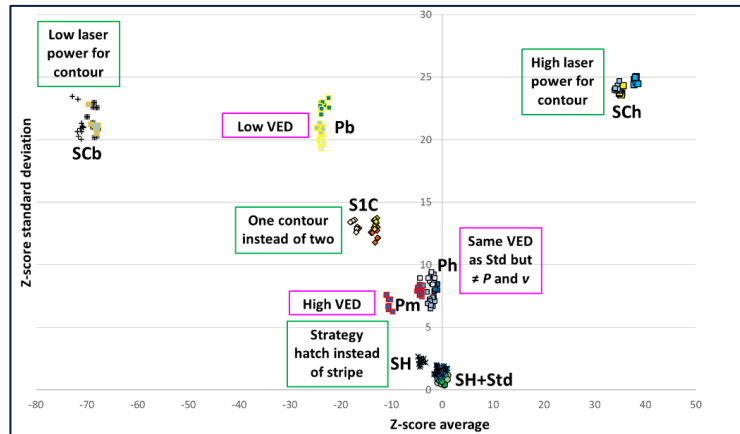


Les pièces avec des paramètres par défaut ont été considérées comme les pièces de référence.

Parameter	Wall thickness (mm)	Laser power (W)	Scanning speed (mm/s)	Laser power for contour (W)	Scanning speed for contour (mm/s)	Scanning strategy
Variation range	0.25 to 0.75	253 to 400	900 to 1875	180 to 253	900 to 1500	hatch or stripe

43

## Classification de pièces denses en fonction des paramètres machine



Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens

Anne-Françoise Obaton-LNE



44

## Résumé et conclusion

### Tomographie à rayon X (XCT)

Méthode de référence pour les pièces de formes complexes : CND (détection de défaut + contrôle santé-matière) + métrologie

- Les incertitudes sur les mesures dimensionnelles doivent être évaluées ;
- Ne convient pas aux pièces volumineuses/denses, et à l'inspection de routine.

### Tomosynthèse

Méthode adaptée aux pièces dont une des dimensions ne permet plus de la scanner par XCT.

### Spectroscopie par résonance ultrasonore (RUS)

Méthodes volumétriques globales, rapides et faciles à utiliser donc adaptées aux inspections de routine, et capables d'inspecter des pièces de grandes tailles.

Limoges 12-16/06/2023 ANF du réseau des mécaniciens

Anne-Françoise Obaton-LNE



45



## Merci de votre attention

Anne-Françoise Obaton Dr/HDR  
Chercheur en métrologie pour la fabrication additive  
Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE), Paris  
Laboratoire Commun de Métrologie LNE-CNAM (LCM)  
French National Metrology Institute (NMI)  
[anne-francoise.obaton@lne.fr](mailto:anne-francoise.obaton@lne.fr)

LABORATOIRE  
NATIONAL  
DE MÉTROLOGIE  
ET D'ESSAIS

