



DÉVELOPPEMENT DE LA MAITRISE DU PROCÉDÉ DE FABRICATION ADDITIVE LBM GRÂCE AU PROJET AEROPRINT

11/10/2023

V. CHASTAND - C. MARCHAND-MAILLET

SOMMAIRE

Comment le projet Aéroprint a contribué au process d'industrialisation des pièces?

- **Projet Aéroprint**
- **Maitrise du procédé**
- **Etude de cas – Maitrise thermique**
- **Conclusions**

PRINCIPE DE LA FABRICATION ADDITIVE (IMPRESSION 3D)

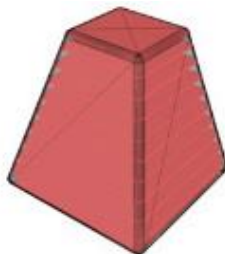
Fabrication additive = *Procédé de fabrication de pièces couche par couche, à partir d'un modèle 3D*



Fichier CAO



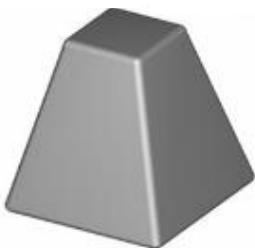
Tranchage numérique



Création des couches

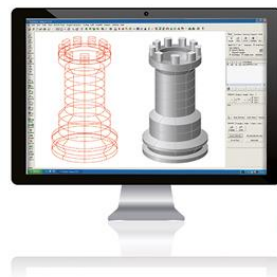


Fabrication couche par couche

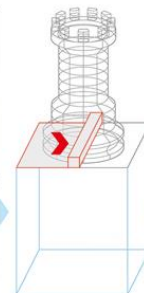


Pièce finale

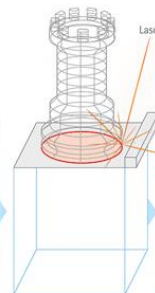
Technologie choisie à Argonay: Fusion sur lit de poudre métallique LBM – Laser Beam Melting



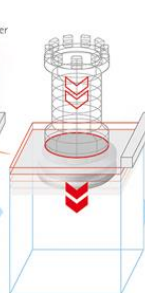
Fichier CAO



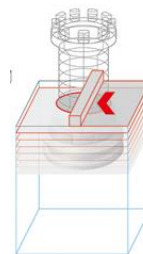
Création d'une couche de poudre



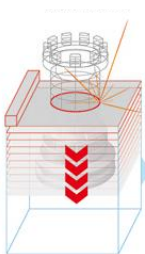
Fusion de la géométrie par laser



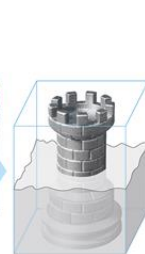
Abaissement du plateau de fabrication



Création d'une couche de poudre



Etc...



Poudre résiduelle récupérée



Pièce finale

POURQUOI UTILISER LA FABRICATION ADDITIVE CHEZ DASSAULT AVIATION ?

Objectifs

Moyens

Réduire la masse



Réduire le coût



Réduire le cycle



Alléger les pièces

Optimisation topologique, évidement des masses inutiles,...

Réduire les assemblages

Visserie, assemblages complexes (brasage, soudage, collage...)...

Ajouter des fonctions

Thermique, mécanique, cosmétique...

Réduire les temps d'intégration

Optimisation des géométries, personnalisation



Projet AEROPRINT

Projet R&D Région (labellisé par le pôle CIMES)

Positionner la production additive comme une
filière de production additive qualifiée

et

Passer d'une vision:
« révolution industrielle attendue »
à une vision
« réalité industrielle compétitive »

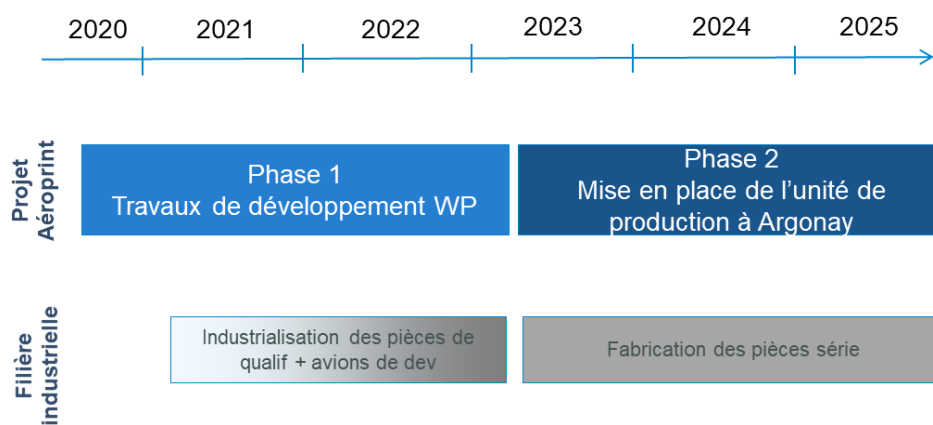
Consortium :



Partenaires majeurs de Dassault Aviation hors consortium :



PROJET EN 9 WP ET 12 MEMBRES DU CONSORTIUM

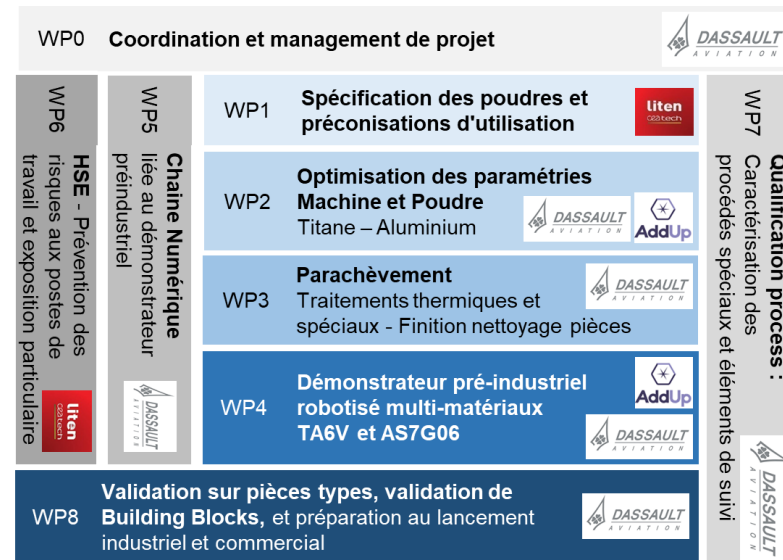


Membres industriels du consortium:

Dassault Aviation
Constellium, Alprobotic, Tekna
Partenaires majeurs: AddUp, Dassault Systèmes

Membres du consortium centres de ressources technologiques :

CEA Tech, Manutech
INP Grenoble, École des mines de Saint-Etienne, SIGMA Clermont et INSA Lyon



SOMMAIRE

Comment le projet Aéroprint a contribué au process d'industrialisation des pièces?

- Projet Aéroprint
- **Maitrise du procédé**
- Etude de cas – Maitrise thermique
- Conclusions

Consortium :



Partenaires majeurs de Dassault Aviation hors consortium :

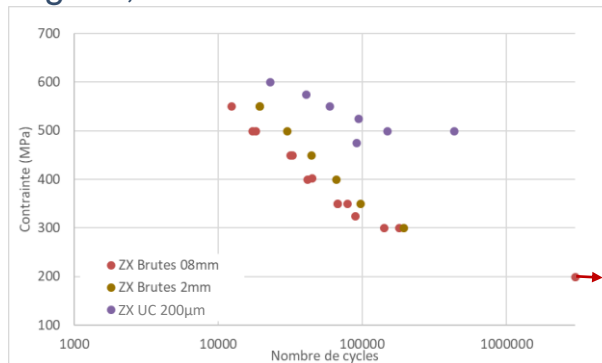
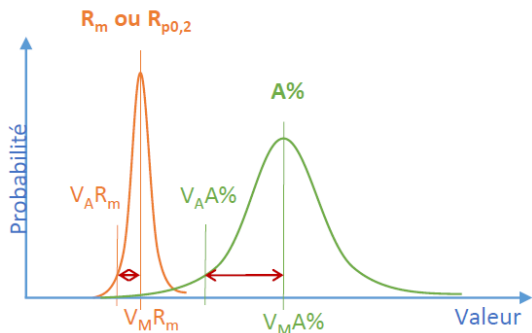
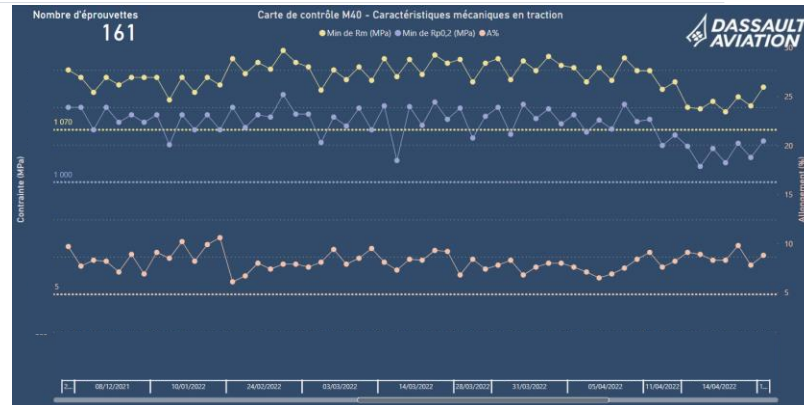


QUALIFICATION MATÉRIAUX ET PROCÉDÉS

Objectif de la qualification matériaux / procédés

- Spécification de réception pour les pièces finies
- Génération valeurs matériaux définition des admissibles

→ Définition d'une matrice de qualification incluant les facteurs de variation des propriétés mécaniques (orientation, épaisseur, formes, finitions...):
ex Titane: 250 tractions, 91 fatigues, 20 micros:



Propriétés	Rm (MPa)	Rp0,2 (MPa)	A%
Requis de suivi	1070	1000	5
MOYENNE	1133	1072	8.2
MIN	1080	995	3.7
MAX	1176	1130	12.9
ECART TYPE	23	27	1.6
Ecarts type %	2	3	20

MAITRISE DES PARAMÈTRES DU PROCÉDÉ

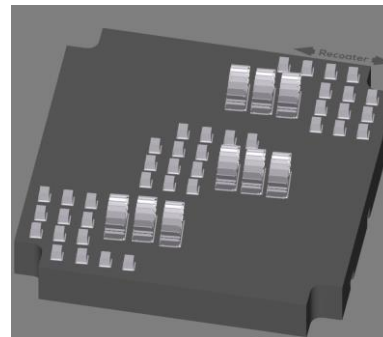
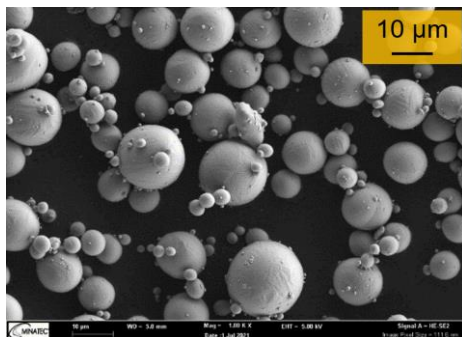
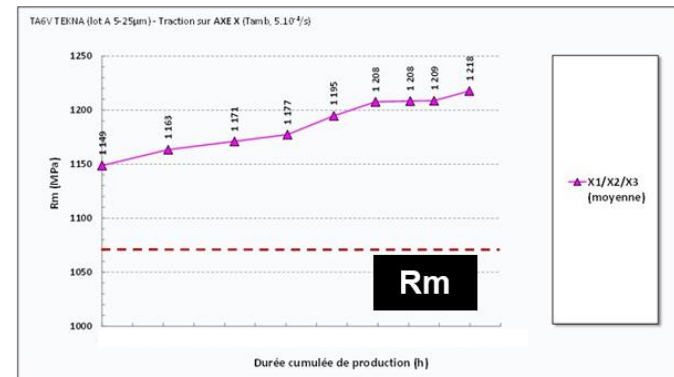
WP2

- **Objectifs:**

- Évaluer la stabilité du procédé dans les variations standards
- Maitrise de l'utilisation de la poudre

- **Paramètres évalués:**

- Réutilisation de la poudre; stockage
- Vitesse / puissance / hatch; Défocalisation; Zone plateau/flux; Écartement contour; épaisseur couche; taux oxygène...
- Paramètres physiques: thermique, temporisation...



MISE EN PLACE D'UNE DÉMARCHE DE MAITRISE DU PROCÉDÉ

WP2 → Identification des paramètres primaires & recherche de marge

WP7 → Étudier variation réelle chaque machine / confirmer résultats WP2

Deux cas :

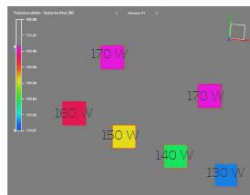
Paramètres Maitrisés : %O2; %H; V. Flux..

- **Marge** : démontrée dans WP2
- **Fréquence : Faible**
→ Niveau WP2 jamais atteint
- **Détection : Sûre**
→ Capteur + Alarme machine

Paramètres à Maitriser : W, Hatch, V. laser

- **Marge** : démontrée dans WP2
- **Fréquence : Faible ?**
→ Vérifié sur une autre FormUp 350 v1.8
- **Détection : Tardive et indirecte**
→ Éprouvettes suiveuse

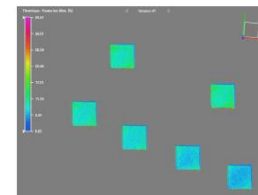
Monitoring de fusion? (WP3)



Puissance pilotée



Puissance émise



Thermique

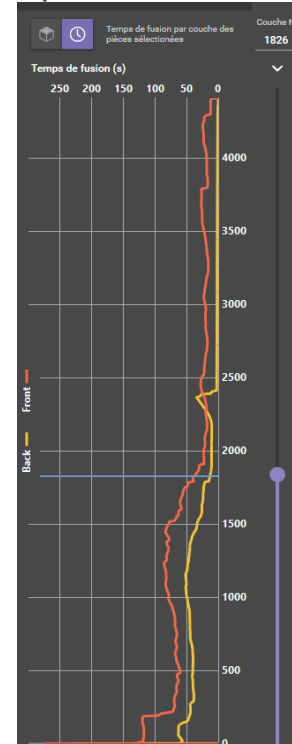
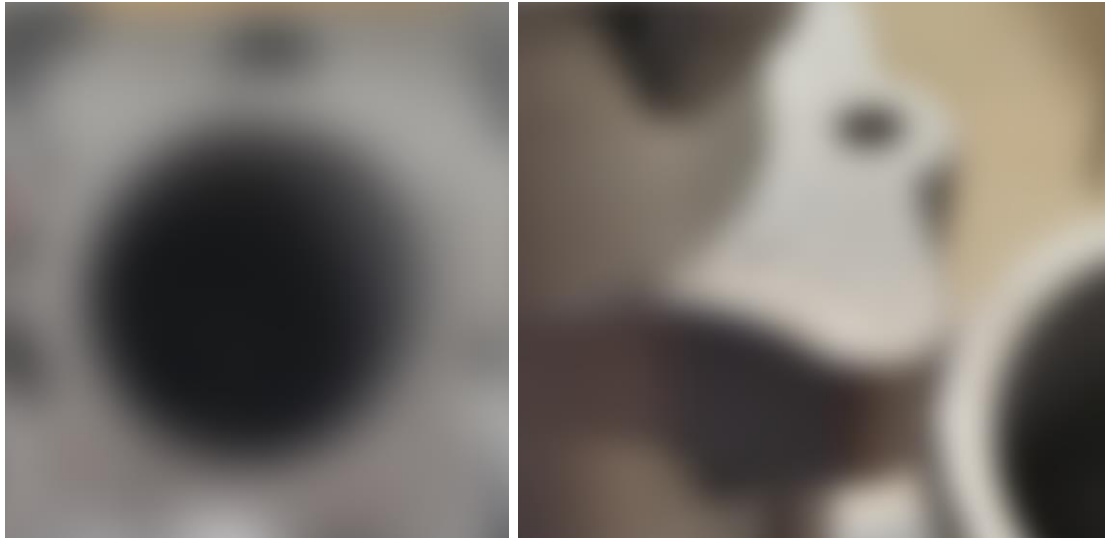
SOMMAIRE

Comment le projet Aéroprint a contribué au process d'industrialisation des pièces?

- Projet Aéroprint
- Maitrise du procédé
- **Etude de cas – Maitrise thermique**
- Conclusions

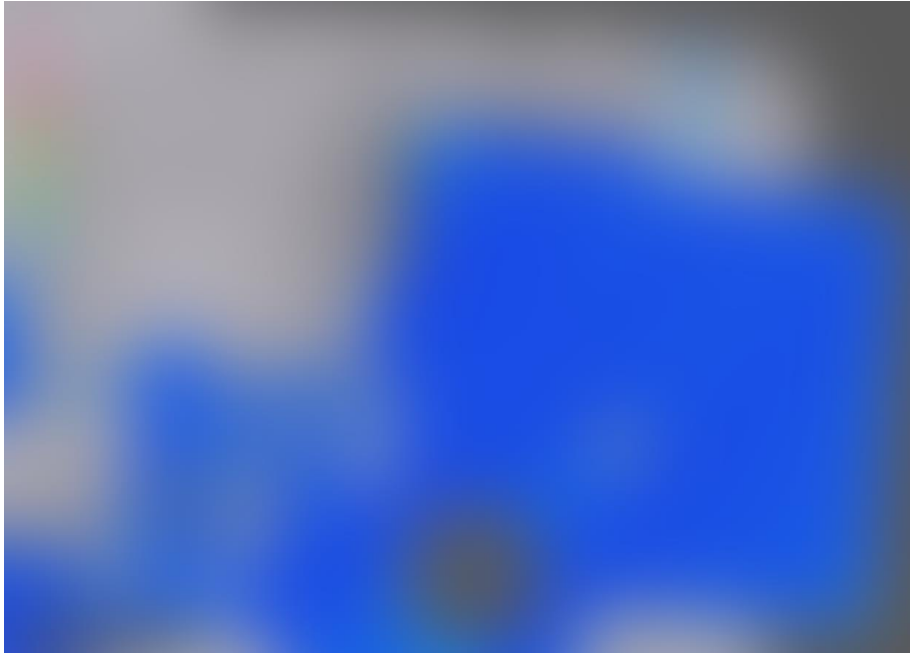
CONSTAT DÉFAUT THERMIQUE

Apparition de défaut de surface et de volume pour un temps entre deux fusions successives d'une pièce trop faible (ex : si différentes géométries, apparition du défaut dès qu'une pièce est terminée)



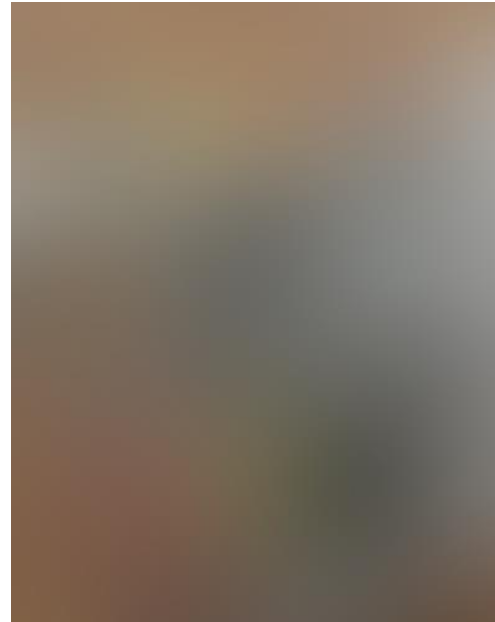
CONSTAT DÉFAUT THERMIQUE

Visualisation par le monitoring de fusion d'une couche sans défaut thermique



CONSTAT DÉFAUT THERMIQUE

Visualisation par le monitoring de fusion des défauts sur les hauteurs de fabrication concernées



→ Étude mise en place sur une géométrie simple

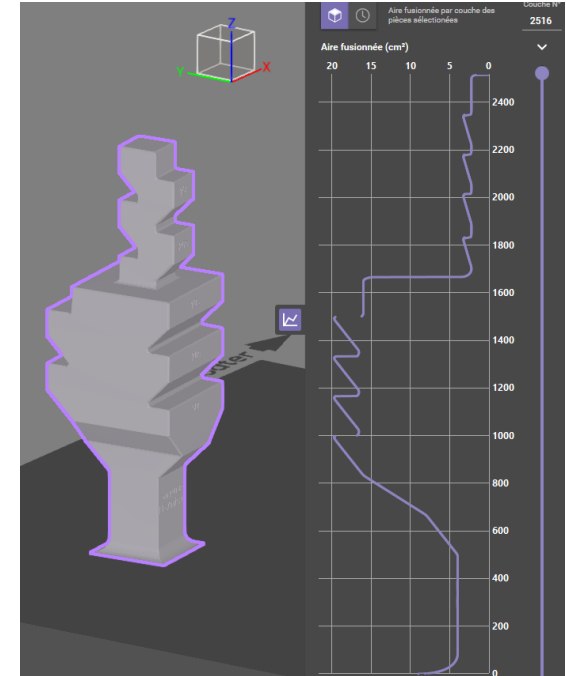
ÉTUDE DE TEMPORISATION

Objectif : Obtenir rapidement une temporisation minimum pour toutes les fabrications

→ Génération d'une CAO qui ne permet pas un bon transfert de chaleur
(augmentation de section x4 en Z) puis essai de différentes temporisations

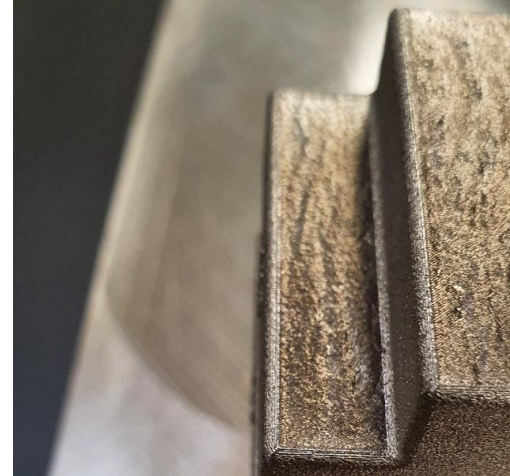
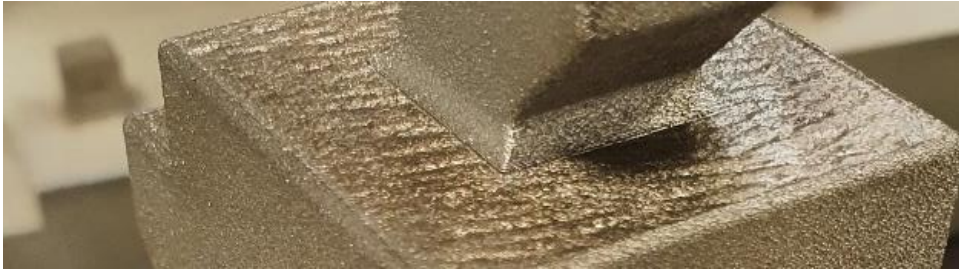
→ Sections fusionnée proche d'une pièce de série réelle
(cas le plus défavorable)

→ Observation visuelle du défaut (présence de vagues en surface)



ESSAIS DE TEMPORISATION

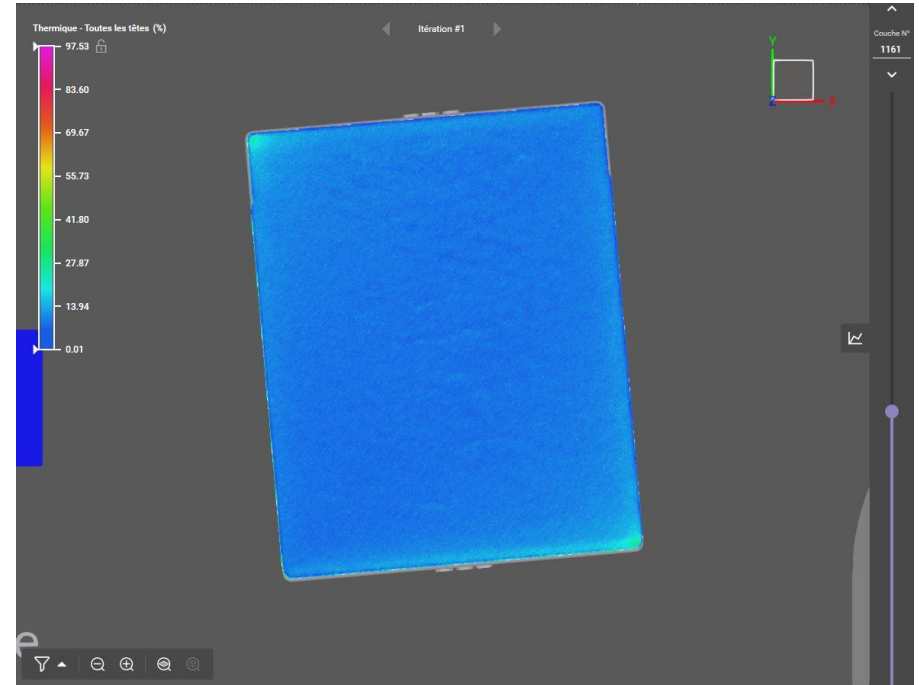
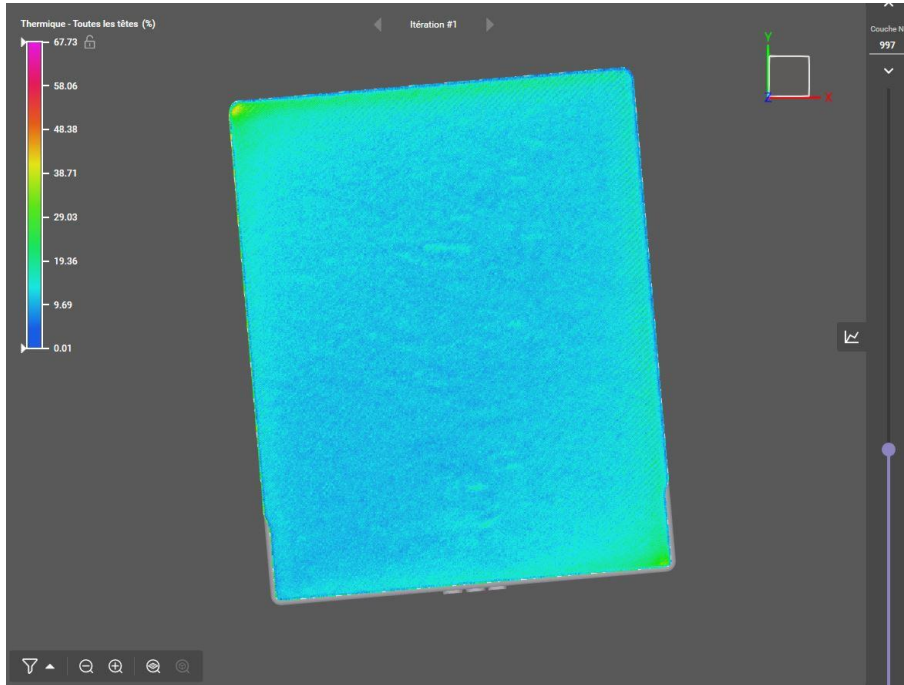
Observations visuelles



→ Le défaut disparaît à partir d'une certaine temporisation

ESSAIS DE TEMPORISATION

Analyses monitoring

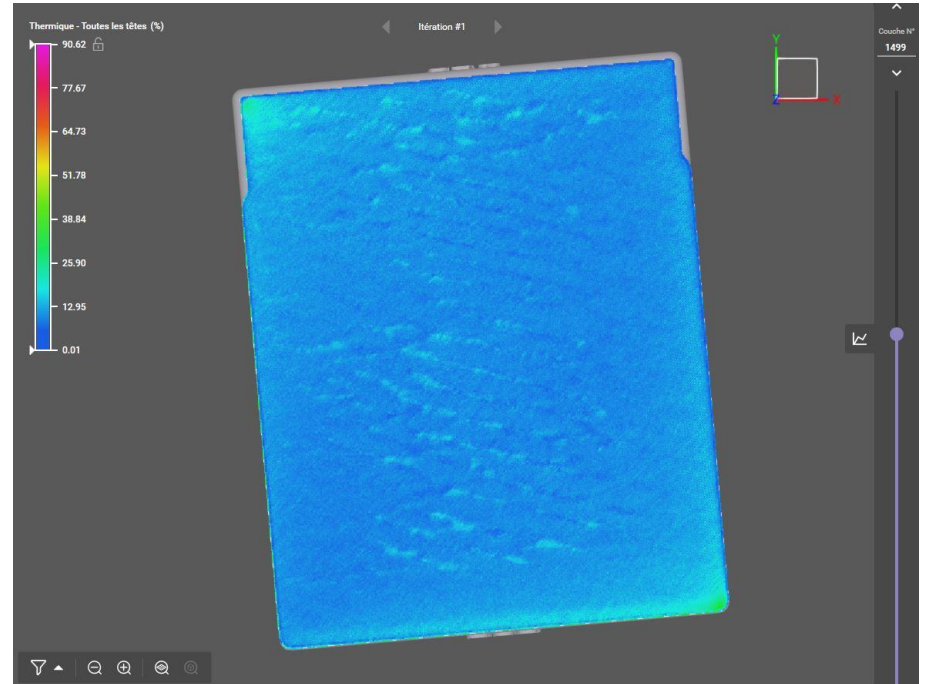
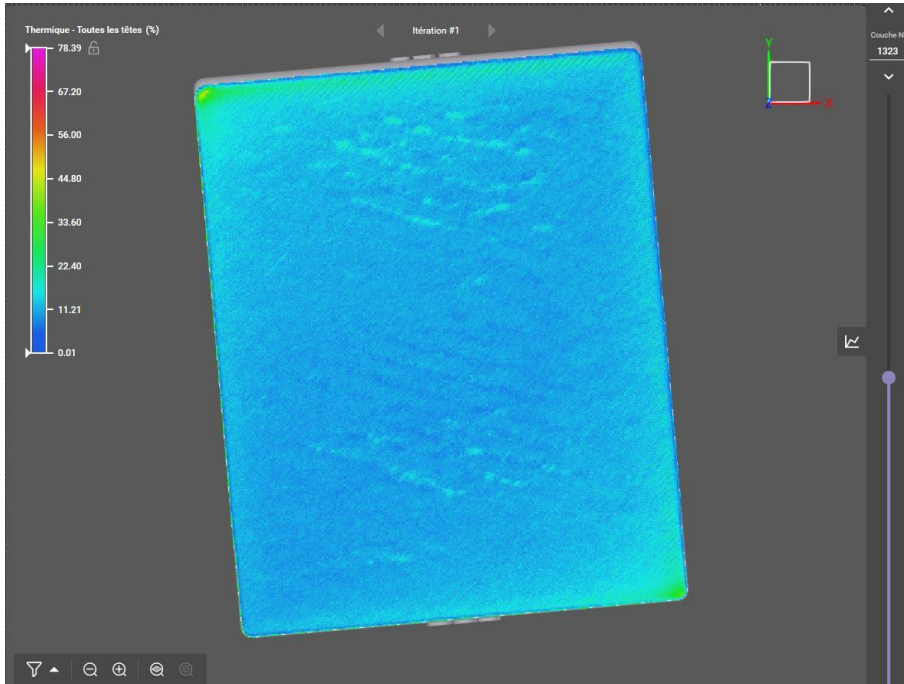


Temporisation maximale

Temporisation qui diminue

ESSAIS DE TEMPORISATION

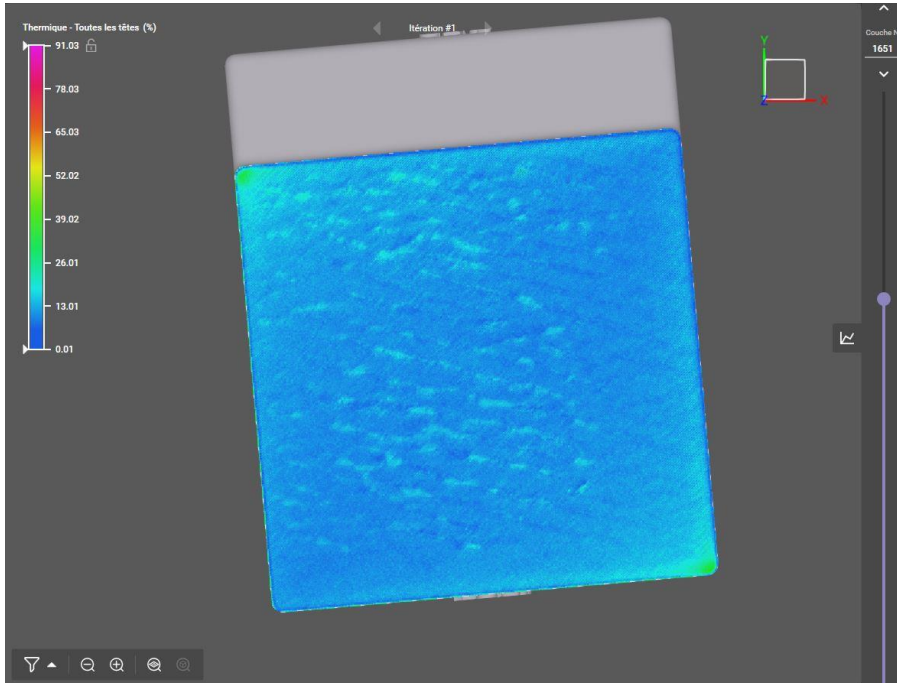
Analyse monitoring



Temporisation qui diminue

ESSAIS DE TEMPORISATION

Analyse monitoring

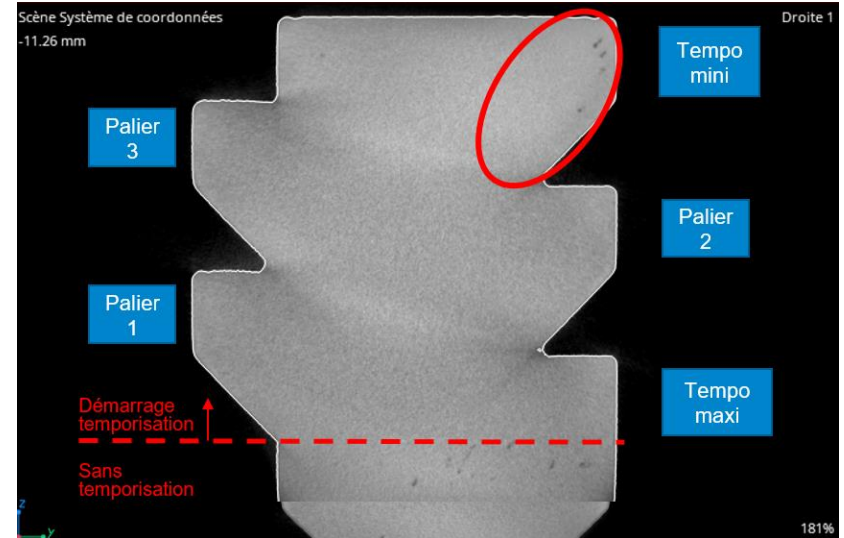
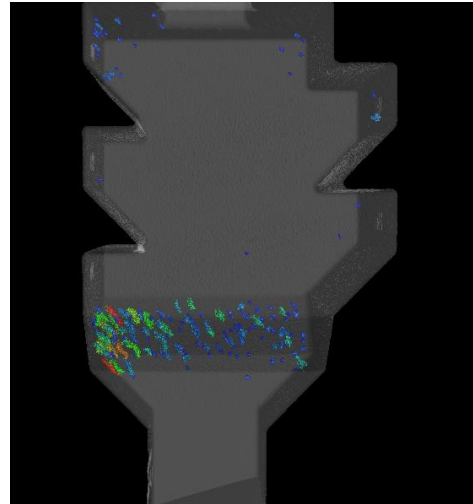
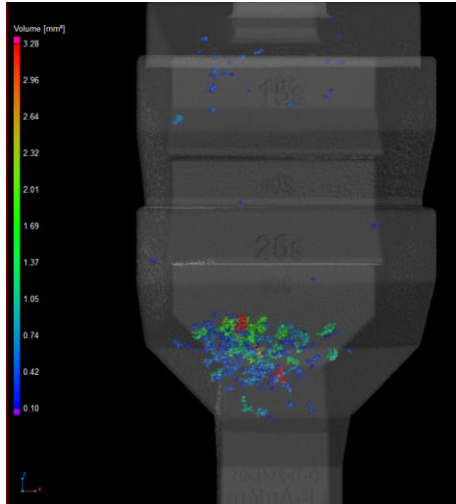


Temporisation minimale

→ Le défaut disparaît à partir d'une certaine temporisation

ESSAIS DE TEMPORISATION

Analyse tomographie (défauts visibles si $>300 \mu\text{m}$)

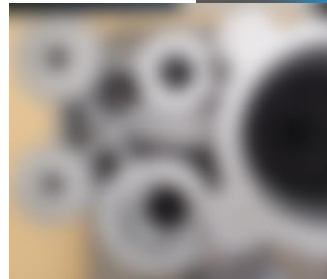
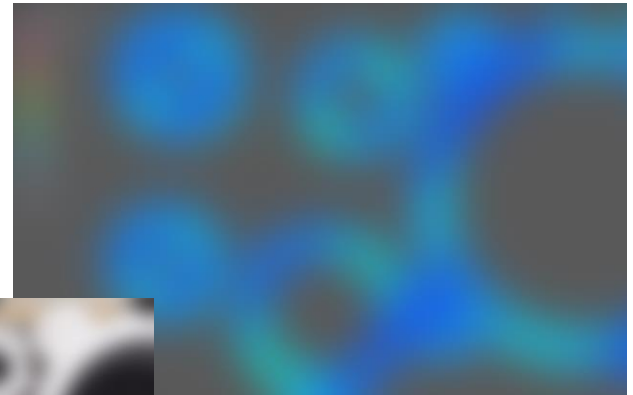
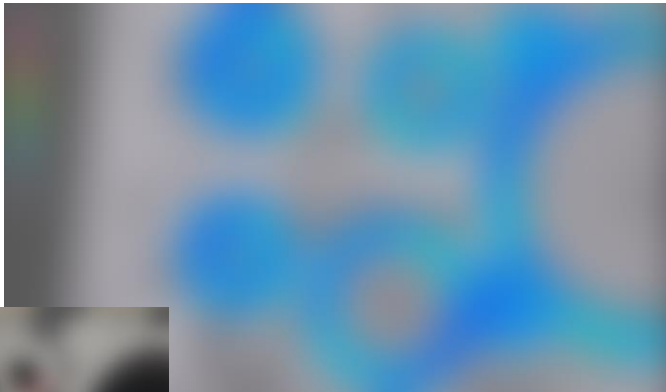


→ Le défaut disparaît à partir d'une certaine temporisation

APPLICATION SUR UNE PIÈCE

Cas typique – Maitrise thermique

- Temporisation minimum à appliquer pour chaque pièce (la fusion d'une pièce fonctionne comme temporisation d'une autre)
- Application à la fabrication initialement avec défaut thermique



CONCLUSIONS

Aéroprint a permis de mettre en place une filière sur le site et la méthodologie d'industrialisation adéquate pour la production de pièces avionnables:

- Définition et optimisation de la gamme de fabrication
- Maitrise du procédé sur l'ensemble de la gamme
- Mise en place d'une structure qualité permettant la fabrication de pièces avionnables

Perspectives:

- Application des règles en production
- Optimisation de la temporisation vs productivité pour la fabrication des pièces
- Mise en place de la simulation pour définir les temporisations

MERCI POUR VOTRE ATTENTION
Questions?