



SOMETRAV-PACA.org

Société de Médecine du travail, d'Ergonomie et de Toxicologie de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur

TECHNOLOGIE 3D ET RISQUE CHIMIQUE

ILLUSTRATION PAR UNE ACTION EN MILIEU DE TRAVAIL MENEÉ AU PÔLE DE FABRICATION ADDITIVE D'UNE ECOLE D'INGENIEURS

MARSEILLE - Mardi 24 Septembre 2019

Docteur Gabriel LAGARDE – MT AIST83 ZI Toulon Est

Arnaud ROUX – Ingénieur en Prévention des Risques Professionnels AIST83 Pôle Technique





COMMENT SECURISER L'ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL EN FABRICATION ADDITIVE ?

ILLUSTRATION PAR UNE ACTION EN MILIEU DE TRAVAIL MENE
AU PÔLE DE FABRICATION ADDITIVE D'UNE ECOLE D'INGENIEURS

MEMOIRE

Pour l'obtention du

Diplôme d'études supérieures universitaires « Pratiques médicales en santé au
travail pour la formation des collaborateurs médecins »

Présenté et soutenu le 24 septembre 2018

Par le

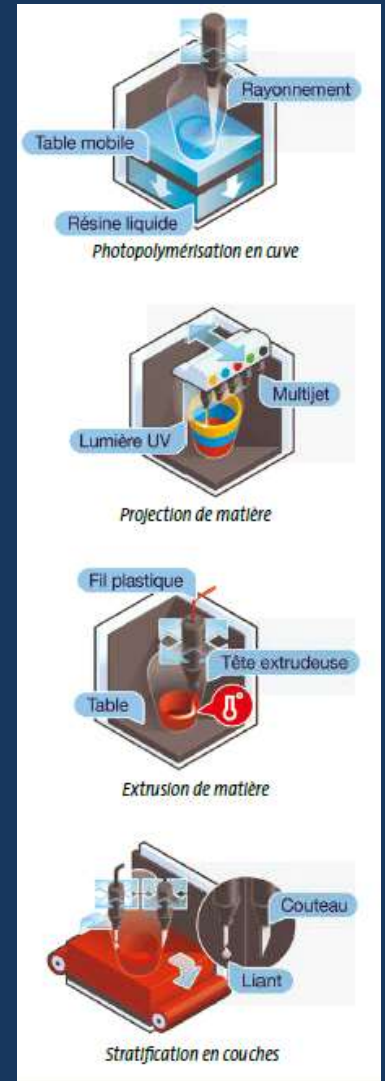
Docteur Gabriel LAGARDE

OBJECTIF POURSUIVI

- **Action de médecine du travail**
- Objectif exclusif : PREVENTION
 - « éviter toute altération de la santé du fait du travail »
- Agir sur une situation de nature à porter un préjudice grave à la santé des personnes travaillant au poste concerné, mais aussi dans l'ensemble du bâtiment
- Situation de travail impliquant l'emploi de technologies récentes, et maîtrise des risques encore peu explorée
- Pertinence pour le choix d'un sujet de mémoire pour l'obtention d'une qualification en médecine du travail

LA FABRICATION ADDITIVE OU IMPRESSION 3D

- Obtention d'objets par addition de matière en couches successives
- Initialement réservée au prototypage
- Développement d'applications industrielles : aéronautique, automobile, architecture, médecine
- Nombreuses matières concernées :
 - Polymères
 - Métaux
 - Céramiques
 - Mais aussi : chocolat, béton, cellules vivantes



CONTEXTE DE L'ACTION DE PRÉVENTION

- Septembre 2015 : demande d'intervention au pôle de fabrication additive (FA) d'une école d'ingénieurs
- 3 types de machines de FA mises en œuvre :

Les différentes machines : Imprimante 3D multi-matériaux

- **STRATASYS: Connex 350**
- Volume: 342*342*200 mm
- Epaisseur couches : 16 à 30 μm
- Matériaux : 14 résines photopolymères différentes à combiner pour avoir une centaine de matériaux différents de très durs à très souples et de transparent à noir.
- Précision : 20 à 200 μm
- Procédé : Pour chaque couche d'impression les différentes résines sont injectées, écrasées au rouleau puis polymérisées à la lampe UV.



Dépôt de Fil : FDM Uprint

• **Stratasys : Uprint**

- Volume d'impression : 150*200*150
- Epaisseur de couches : 0,254 mm
- Matériau : ABS et support soluble
- Possibilité d'imprimer en nid d'abeille
- Fonctionnement:

Le fil est extrudé et vient se superposer pour réaliser chaque couche de la pièce.



CONTEXTE DE L'ACTION DE PRÉVENTION

- 3 types de machines de FA mises en œuvre :

La frittage laser métallique : SLM

- **Phenix Systems : PXS**

- Volume : 100*100*80mm
- Précision : $\pm 50\mu\text{m}$
- Couches : 30 μm
- Matériaux :

Alliage Chrome-Cobalt
Aciers inox, Aciers outillages



- **Fonctionnement**

Le procédé d'impression débute par l'ajout d'une fine couche de poudre variant entre 20 et 100 microns sur le plateau de fabrication.

Cette couche sera compactée par un rouleau. Un laser va fusionner la poudre métallique puis on recommence le cycle d'impression.

ETAPES CHRONOLOGIQUES

MACHINES À L'ARRÊT DE L'AUTOMNE 2015 À L'ÉTÉ 2017

- **Septembre 2015 : IDENTIFICATION DE NOMBREUX RISQUES**

- Risques physiques :

- Bruit
- Explosion
- Hypoxie
- Laser
- Incendie



MISE A L'ARRET DES MACHINES

- Risques chimiques

- Nombreux produits : résines, solvants, soude
- Poudres métalliques **CMR**
- Procédés exposants (préparation des poudres)
- Doutes majeurs sur conception de la ventilation, de l'adaptation de la filtration

- Aspects organisationnels

- Travail en situation isolée
- Accès non-contrôlés
- Procédures de travail : préparation des poudres, traitement chimique des pièces, chauffage des pièces produites, nettoyage et dépannage des machines
- Entretien des locaux : emploi d'un balai à sec avec pour les poudres risque de dissémination du risque chimique ; aspirateur sans précision de sa bonne adaptation

- Aspects relatifs aux équipements individuels de sécurité (EPI)

- Vêtements de travail : blouse et gants seulement
- Doute relatif aux masques de protection respiratoire

ETAPES CHRONOLOGIQUES

- **Octobre 2015** : intervention pluridisciplinaire (médecin de prévention – IPRP)
- **Décembre 2015** : transmission du rapport d'évaluation et de préconisations
- **Février 2016** : décision en CHSCT d'un plan d'action
- **Janvier 2017** : évaluation pluridisciplinaire après travaux d'aménagement
- **Juin 2017** : sur la base de notre rapport remise en route après avis favorable du CHSCT

MÉTHODE

- Approche pluridisciplinaire
- Etude sur site de la configuration des locaux et des étapes de travail
- Recensement de l'ensemble des produits chimiques employés
- Etude des fiches de données de sécurité
- Recherche bibliographique

PRINCIPAUX RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION DES RISQUES

- Bruit, explosion, hypoxie: générateur et soupapes du réservoir d'azote positionnés dans les locaux de travail



PRINCIPAUX RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION DES RISQUES

- Analyse et compréhension des dangers chimiques :
 - Analyse des FDS par différents outils d'évaluation :

1°/ Analyse « produits »

2°/ Analyse « substances »

3°/ Analyse « substances dégradées » (analogies)

[lien](#)

- Plusieurs substances employées ou dégradées présentant des risques carcinogènes, mutagènes, reprotoxiques (CMR).
- Substances corrosives : bain de soude.
- Procédés de FA générant des composés organiques volatils (COV).
- Nombreux solvants.



PRINCIPAUX RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION DES RISQUES

Avis et analyse des dispositifs de ventilation :



→ Dispositifs spécifiques :

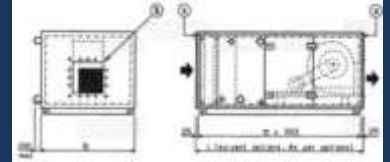
- Confinement du carter de la PXS (poudre) : conception favorable à la qualité de production et non au confinement des polluants.
- Filtres des hottes inadaptés pour certaines poudres métalliques CMR.
- Absence de filtration des gaz rejetés par les machines de FA.

Avis : acquisition du module de filtration sur la machine PXS ou échappement des polluants directement en extérieur.

→ *Difficile d'apporter des modifications à la conception des machines (remise en cause du marquage CE).*

PRINCIPAUX RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION DES RISQUES

Avis et analyse, ventilation générale :



- Air des locaux accueillant les machines de FA réinjecté sur le réseau de climatisation / ventilation de l'ensemble du bâtiment.
- Débits de ventilation non équilibrés entre les différents locaux.
- Absence de filtration des polluants gazeux au niveau des CTA.
- Conditions d'asservissement des extractions inadaptées (CO_2 , T°C)

Principales recommandations :

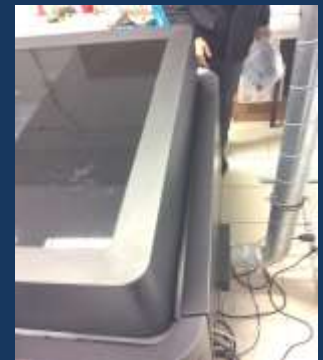
- Revoir la configuration des réseaux. Réseau autonome du reste du bâtiment.
- Augmenter les débits de ventilation générale dans les locaux (10 Vol./heure).
- Supprimer l'asservissement des extractions.

PRINCIPAUX APPORTS DE LA RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

- Importance de la mise en place de filtration et ventilation des locaux
- Publication identifiée et transmise avec rapport d'évaluation et préconisations
NB : cohérence des conclusions des publications
- Risques de la fabrication additive encore sous-estimés
- Nécessité d'une meilleure connaissance et prise en compte de ces risques
- Intérêt d'études complémentaires sur cas réels, et de développer des normes prenant en compte les aspects hygiène et sécurité (HST)
- Emploi croissant dans de très nombreux domaines :
 - Aéronautique et spatial
 - Armement
 - Automobile
 - Electroménager
 - Construction
 - Médecine : recherche pharmaceutique, orthopédie, compensation du handicap, reconstruction d'organes

TRANSFORMATIONS APPORTÉES À LA SITUATION DE TRAVAIL

- Moyens collectifs :
 - Isolement des circuits d'air du reste du bâtiment
 - Mise en place d'une ventilation
 - Mise en place d'une filtration



TRANSFORMATIONS APPORTÉES À LA SITUATION DE TRAVAIL

- Mesures organisationnelles : formation, limitation des accès
- Mesures individuelles : amélioration des EPI



- Déplacement du générateur et du réservoir d'azote
- Réorganisation de l'emplacement des équipements grâce à l'espace libéré

COÛT TOTAL : 53 000 EUROS

CONCLUSIONS RETIRÉES

POUR LA SITUATION DE L'INTERVENTION

- Risque mal pris en compte initialement malgré son identification
- Mise en danger réelle de la santé au travail avant réalisation des améliorations apportées
- Surcoût probable de travaux réalisés a posteriori
- Arrêt prolongé de machines onéreuses et utiles au fonctionnement de l'établissement

CONCLUSIONS RETIRÉES

POUR D'AUTRES SITUATIONS

- Technologie en plein essor mais mal connue des services de prévention
- Complexité des risques (produits d'émission)
- Intérêt de sécuriser dès la conception des locaux :
 - **FILTRER**
 - **VENTILER**
- Etudes à poursuivre
 - Précision des risques
 - Développement de normes HST pour la FA
 - Rédaction de guides de bonnes pratiques
- **INTERÊT DE L'APPROCHE PLURIDISCIPLINAIRE**

PUBLICATION INRS MARS 2019

FICHE PRATIQUE DE SÉCURITÉ ED 144

FABRICATION ADDITIVE OU IMPRESSION 3D UTILISANT LES POUDRES MÉTALLIQUES

mars 2019

FICHE PRATIQUE DE SÉCURITÉ **ED 144**



En plus des risques classiques associés à toute activité industrielle, la fabrication additive utilisant des poudres métalliques comporte des risques spécifiques liés aux produits mis en œuvre ou générés. Les opérations annexes, comme la préparation et la récupération des poudres, la récupération et la finition des objets fabriqués, la maintenance sont plus exposantes que la fabrication proprement dite. Pour la majorité des poudres métalliques, le risque chimique s'accompagne également du risque d'incendie et d'explosion. Les principales solutions de prévention visent à limiter l'exposition par le travail en circuit fermé, par le captage des polluants et par l'organisation du travail.

**Fabrication additive ou impression 3D
utilisant les poudres métalliques**

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

A.ROUX@AIST83.FR

G.LAGARDE@AIST83.FR