

**Expéditeur**

Ghita FARZOUZ

**Bureau Veritas Exploitation  
Centre Technique Europe**

Immeuble Le Guillaumet  
60 avenue du Général de Gaulle  
92046 PARIS-LA DÉFENSE CEDEX

Tél. : 01 41 96 71 20

Mail : [ghita.farzouz@fr.bureauveritas.com](mailto:ghita.farzouz@fr.bureauveritas.com)

**Destinataire**

Loïc LESCOT

**CEA  
Saclay DIGITEO Labs**

Bâtiment 565 – Pièce 1077  
F-91191  
GIF-SUR-YVETTE CEDEX

Tél. : 01 69 08 11 16 / 06 87 87 67 56

Mail : [loic.lescot@cea.fr](mailto:loic.lescot@cea.fr)

# CEA

## PROJET ADDITIVE FACTORY HUB

# Étude du risque ATEX

Rapport n° 797715-7165042-V2

VERSION	DATE D'ÉMISSION	AUTEUR	VÉRIFICATEUR	APROBATEUR
V2	03/07/2018	G. FARZOUZ	E. DELUÈGUE	H. LEDOUX

**BUREAU VERITAS EXPLOITATION**

Société par Actions Simplifiée – 66 rue de Villiers 92300 LEVALLOIS-PERRET – RCS : Nanterre 790 184 675 – Capital Social de 36 315 050 euros

© Bureau Veritas Exploitation - Toute reproduction interdite

# SOMMAIRE

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>
1.1. Contexte et périmètre d'étude .....	3
1.2. liste des documents de référence.....	3
<b>2. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION .....</b>	<b>4</b>
2.1. Description des équipements.....	4
2.2. Description des modes opératoires .....	4
<b>3. ANALYSE DU RISQUE ATMOSPHERE EXPLOSIVE (ATEX).....</b>	<b>6</b>
3.1. Généralités .....	6
3.1.1 Définition du phénomène d'explosion .....	6
3.1.2 Méthodologie de classement de zone ATEX poussières .....	7
3.2. Zonage atex des locaux .....	7
3.2.1 Caractéristiques des poussières inflammables .....	7
3.2.2 Spécificités du zonage ATEX .....	8
3.2.3 Fiche de synthèse du classement de zones ATEX .....	9
3.2.4 Conclusions / Recommandations.....	35
<b>4. PRESCRIPTIONS SUR LES MATERIELS A METTRE EN PLACE .....</b>	<b>36</b>
4.1. Marquage des appareils .....	36
4.1.1 Principes généraux .....	36
4.1.2 Zonage et marquage des équipements.....	37
4.2. Les règles concernant le matériel électrique.....	37
4.2.1 Câbles pour tout mode de protection sauf sécurité intrinsèque.....	37
4.2.2 Câbles de sécurité intrinsèque .....	37
4.2.3 Chemins de câble de sécurité intrinsèque.....	37
4.2.4 Circuits de sécurité intrinsèques .....	38
4.2.5 Raccordement des masses.....	38
4.2.6 Boucle sur câble.....	38
4.3. Les règles concernant le matériel non-électrique.....	38

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des poussières inflammables mises en œuvre Source : Les mélanges explosifs – Partie 2 : Poussières combustibles – INRS ED 944 (Réf. [7]) .....	7
Tableau 2 : Marquage des équipements à mettre en œuvre dans les locaux.....	37

## Liste des figures

Figure 1 : Dispositions des locaux/équipements dans le laboratoire d'étude .....	5
Figure 2 : Hexagone de l'explosion (source : INRS) .....	6

# 1. INTRODUCTION

## 1.1. CONTEXTE ET PÉRIMÈTRE D'ÉTUDE

Le projet Additive Factory Hub consiste en la construction d'un laboratoire d'impression 3D métallique dont le maître d'ouvrage est le CEA de Saclay. Les poudres métalliques étant inflammables, le projet présente des risques d'explosion et doit faire l'objet d'une analyse des risques d'atmosphères explosives (ATEX) au titre de l'application du code du travail.

Le bâtiment projeté présente une surface de 480 m<sup>2</sup> pour une hauteur de 5 m.

À l'intérieur du bâtiment, l'espace est divisé en différentes pièces :

- Un vestiaire permettant de laisser des effets personnels et de prendre les éventuels EPI
- Une circulation permettant de distribuer les différentes zones de travail et d'accueillir des postes déportés
- Une salle « machine dépôt fil » où sera installé un système d'impression 3D utilisant du fil métallique
- Un atelier permettant de faire le post-traitement des pièces à l'issue de la fabrication
- Une zone « poudre » comportant :
  - Deux salles « machines » avec des imprimantes 3D à poudre et les équipements annexes (tamiseur, aspirateur, nettoyage)
  - Un stockage de la poudre dans des armoires coupe-feu
  - Un espace déchets où sont entreposés les bidons vides, les filtres usagers et permettant de faire les vidanges des boues des aspirateurs humides

En ce qui concerne la poudre, il est envisagé de travailler sur de l'acier 316L, de l'inconel, de l'aluminium et du titane TA6V avec une taille de poudre de l'ordre de 5 à 60 µm.

Du fait de l'activité de R&D hébergée au sein de la plateforme, les chercheurs testeront différents fournisseurs. Le zonage réalisé dans cette étude est donc basé sur la poudre ayant les caractéristiques les plus contraignantes. Une analyse devra être effectuée par le CEA à chaque fois qu'une nouvelle poudre sera mise en œuvre afin de vérifier que cette poudre est compatible avec ces caractéristiques.

Le présent rapport établit le zonage ATEX des installations et activités susmentionnées, ainsi que les prescriptions sur les matériels à mettre en place au regard du risque ATEX.

## 1.2. LISTE DES DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

- [1] Schémas de principe aérauliques fournis par le CEA
- [2] Plans de ventilation fournis par le CEA
- [3] Plan de disposition des équipements dans le local fourni par le CEA
- [4] Fiches de données de sécurité des poudres utilisées fournies par le CEA
- [5] Descriptif des modes opératoires et du mode de fonctionnement, entretien et fréquence d'utilisation des installations fournie par le CEA
- [6] NF EN 60079-10-2:2015 : Atmosphères explosives - Partie 10-2 : classement des emplacements - Atmosphères explosives poussiéreuses
- [7] Les mélanges explosifs – Partie 2 : Poussières combustibles – INRS ED944
- [8] Emploi des matériaux pulvérulents – INRS ED 767
- [9] NF EN 50495:2010 : Dispositifs de sécurité nécessaires pour le fonctionnement sûr d'un matériel vis-à-vis des risques d'explosion
- [10] NF EN 60079-14:2014 : Atmosphères explosives - Partie 14 : conception, sélection et construction des installations électriques

## 2. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

### 2.1. DESCRIPTION DES ÉQUIPEMENTS

Le principe du dépôt de poudre par laser consiste à faire fondre une partie bien déterminée d'un lit de poudre métallique à l'aide d'un laser. Le faisceau laser est alors vecteur d'un apport thermique précis et localisé.

L'apport de matière se fait principalement sous forme de poudres, ce qui offre l'avantage de déposer un très large choix de matériaux métalliques.

Deux machines d'impression 3D par laser sont mises en œuvre dans le cadre du projet objet du présent rapport. Une machine « **FormUp 350** » du constructeur AddUp composé d'un module d'impression prévue dans la salle machine et une machine d'impression **Prox DMP320** du constructeur 3D Système prévue dans l'espace banc instrumenté.

Ces deux machines disposent d'un système d'inertage à l'argon permettant la construction des pièces en atmosphère contrôlée avec un taux faible d'oxygène permettant de réduire le risque d'explosion.

### 2.2. DESCRIPTION DES MODES OPÉRATOIRES

En vue de l'étude ATEX mise en œuvre, les espaces identifiés présentant un risque ATEX sont les suivants :

- Un espace poudre dédié au stockage de poudre neuve en armoires coupe-feu.
- Un espace machine ouverte dédié à la machine d'impression « FormUp », à des opérations de préparation de la poudre (tamisage, mélange des poudres) et à des opérations de nettoyages des pièces.
- Un espace banc instrumenté 3DS dédié à la machine « Prox DMP320 », à des opérations de préparation de la poudre (tamisage, mélange des poudres) et à des opérations de nettoyages des pièces.
- Un espace Déchets dédié aux filtres, contenants usagés...
- Un espace sas extérieur destiné au dépôt/réception des différents équipements et produits.
- Un vestiaire permettant de laisser des effets personnels et de prendre les éventuels EPI.
- Une circulation permettant de distribuer les différentes zones de travail et d'accueillir des postes déportés.

Les modes opératoires pour la fabrication des pièces « FormUp » ou « Prox DMP320 » sont très similaires. La poudre neuve est stockée dans un premier temps dans l'espace poudre dans des armoires coupe-feu hermétiquement isolées. Avant chaque fabrication la poudre subit une phase préparatoire (tamisage, mélange des poudres nouvelles et des poudres usagées...). Les poudres sont ensuite rechargées dans les machines à travers des conteneurs ou des cartouches afin de procéder à la fabrication de pièces en atmosphère inertée à l'argon. Une fois la fabrication terminée, la pièce est nettoyée selon différents mécanismes et la poudre usagée est traitée et stockée pour une réutilisation.

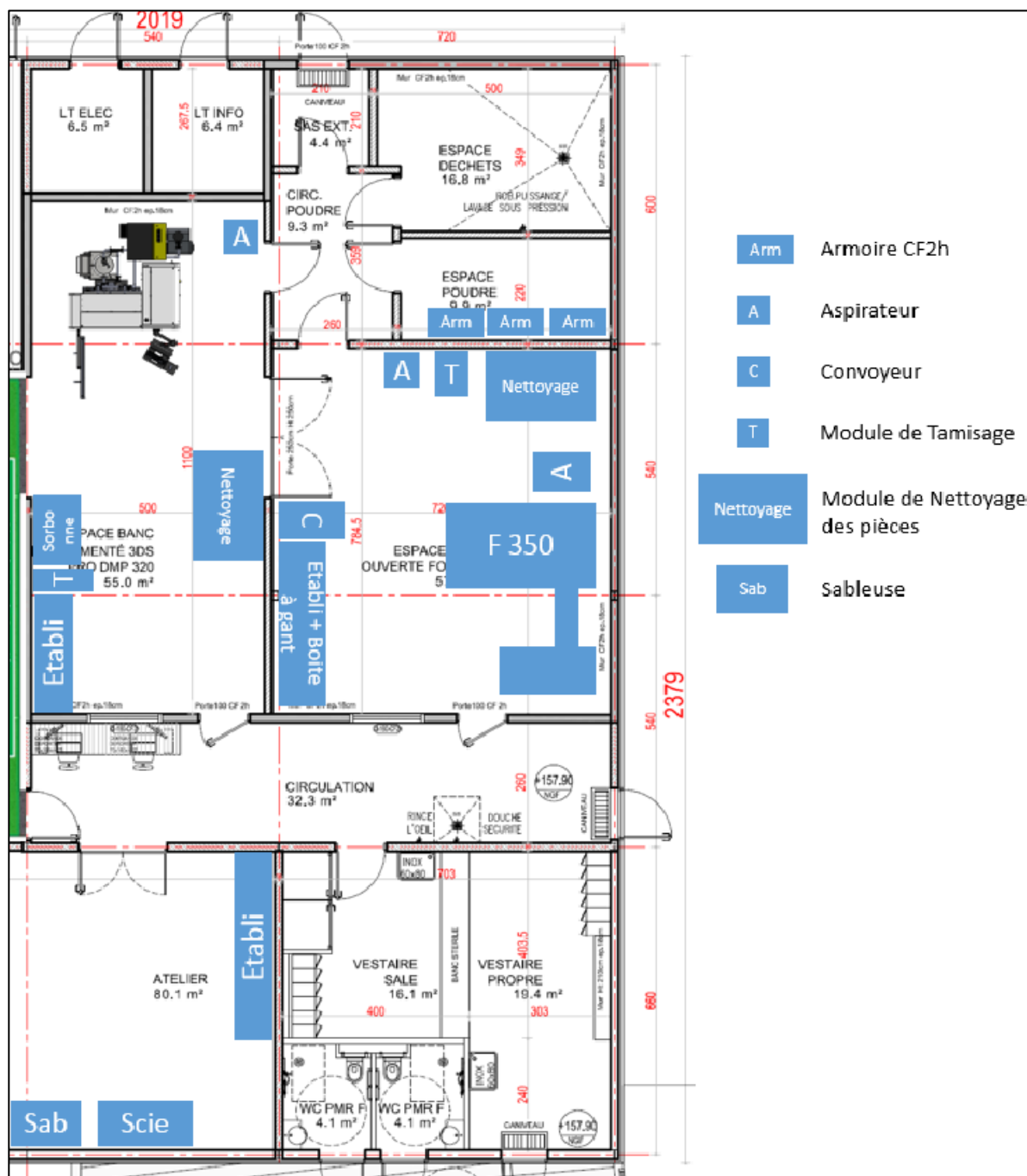


Figure 1 : Dispositions des locaux/équipements dans le laboratoire d'étude

### 3. ANALYSE DU RISQUE ATMOSPHERE EXPLOSIVE (ATEX)

#### 3.1. GÉNÉRALITÉS

##### 3.1.1 Définition du phénomène d'explosion

Une explosion est le phénomène par lequel un système réactionnel constitué d'une atmosphère explosive donne lieu à une réaction chimique de combustion rapide et fortement exothermique pouvant produire des effets mécaniques.

Afin qu'une explosion puisse avoir lieu, six conditions doivent être réunies :

- présence d'un comburant (oxygène de l'air),
- présence d'un combustible (vapeurs ou poussières inflammables),
- présence d'une source d'inflammation,
- le combustible doit être sous forme gazeuse, de brouillard ou de poussières (de granulométrie suffisamment fine) en suspension,
- existence de proportions adéquates entre l'air et le combustible (domaine de concentration du combustible dans l'air à l'intérieur duquel l'inflammation d'une atmosphère explosive est possible),
- présence d'un confinement suffisant de l'ATEX afin d'entretenir le phénomène de combustion rapide.

Ces conditions sont représentées dans la figure 1 par un schéma communément appelé « l'hexagone d'explosion ».

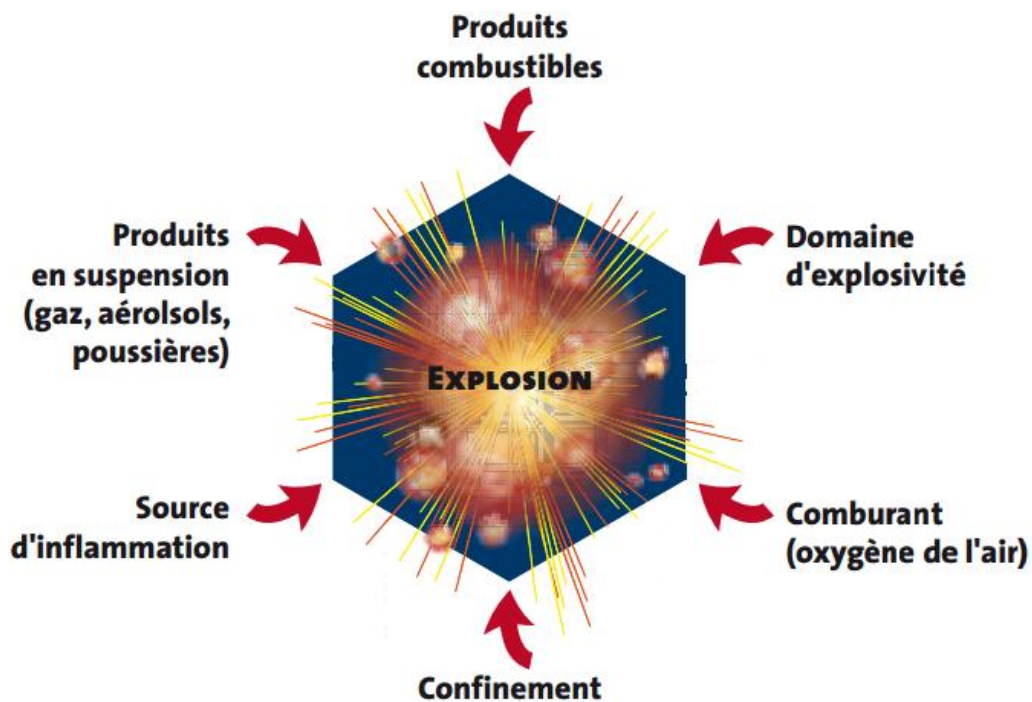


Figure 2 : Hexagone de l'explosion (source : INRS)

### 3.1.2 Méthodologie de classement de zone ATEX poussières

#### 3.1.2.1 Définition des zones ATEX poussières

**Zone 20** : Emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles est présente dans l'air en permanence, pendant de longues périodes ou fréquemment.

**Zone 21** : Emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles est susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal.

**Zone 22** : Emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal, ou, si elle se présente néanmoins, elle n'est que de courte durée.

#### 3.1.2.2 Méthodologie de classement de zone

Le classement des emplacements où une atmosphère explosive poussiéreuse peut se présenter s'appuie sur la norme EN 60079-10-2:2015 (réf. [6]) et la définition du degré de dégagement.

- **Niveau continu de dégagement (C)** : dégagement qui est continu ou qui est supposé se produire fréquemment ou sur de longues durées.
- **Niveau primaire de dégagement (1<sup>er</sup>)** : dégagement qui est supposé se produire périodiquement ou occasionnellement en fonctionnement normal.
- **Niveau secondaire de dégagement (2<sup>nd</sup>)** : dégagement qui n'est pas supposé se produire en fonctionnement normal, et qui s'il se produit est supposé de faire rarement ou sur de courtes durées.

Les couches, dépôts et tas de poussières combustibles doivent être traités comme toute autre source susceptible de former une atmosphère explosive.

## 3.2. ZONAGE ATEX DES LOCAUX

### 3.2.1 Caractéristiques des poussières inflammables

Du fait de l'activité R&D dans la plateforme, plusieurs poussières inflammables seront amenées à être utilisées. Pour réaliser l'étude de zonage suivante, nous avons retenus les deux poussières jugées les plus dangereuses au regard du risque ATEX : la poudre de Titane (Ti64) et la poudre d'aluminium. Ainsi sont listées ci-dessous les principales caractéristiques représentatives du caractère inflammable de ces deux poussières retenues (réf [7]).

Produits	Température minimale d'inflammation (°C)		Energie minimale d'inflammation (nuage) (mJ)	Concentration minimale d'explosion (nuage) (g/m <sup>3</sup> )	Pression maximale d'explosion (bar)
	Couche <sup>1</sup>	Nuage			
Poussière d'Aluminium	490 à 700	550 à 800	15 à 160	40 à 140	4 à 6,5
Poussière de Titane (Ti64)	>400	710	3-5	50	6,1

Tableau 1 : Caractéristiques des poussières inflammables mises en œuvre  
Source : Les mélanges explosifs – Partie 2 : Poussières combustibles – INRS ED 944 (Réf. [7])

<sup>1</sup> La réglementation ATEX impose de se baser sur la température d'inflammation en nuage à partir d'une surface chaude et d'une température d'inflammation en couche de 5 mm.

### 3.2.2 Spécificités du zonage ATEX

#### **Étendues des zones ATEX.**

L'étendue des zones définies dans cette étude est évaluée sur la base de données client théoriques (projet en phase de conception). Ainsi les étendues des zones ATEX définies peuvent nécessiter des évolutions en fonction des nuages et couches de poussières observés lors de la mise en service de l'installation, qui dépendent notamment du niveau d'entretien accordé par l'exploitant ou des conditions opératoires réellement mises en œuvre (vitesse de manipulation...).

Il est donc recommandé de vérifier les valeurs attribués aux étendues des zones lors de la mise en service et de les mettre à jour si nécessaire (observation de nuages ou de dépôts hors zone ATEX, notamment).

#### **Poussières inflammables prises en compte.**

Le laboratoire étudié mettra en œuvre un certain nombre de poussières différentes. A ce stade d'étude, le projet n'est qu'en phase de conception, il s'avère donc compliqué d'estimer toutes les poussières pouvant être employées.

Ainsi l'étude a été faite sur la base des deux poussières les plus contraignantes prévus dans ce laboratoire. L'étude sera à mettre à jour si des poussières plus contraignantes sont mises en œuvre.



### 3.2.3 Fiche de synthèse du classement de zones ATEX

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C – 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>1- Localisation : Espace poudre</b>									
Génération de poussières lors des stockages des poudres neuves et usagés dans des armoires	D	2 <sup>nd</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stockage des poudres neuves et usagées dans des contenants hermétiquement isolés</li> <li>- Ventilation autonome des armoires de stockage par aspiration</li> </ul>	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide si :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les conteneurs restent hermétiquement fermés lors du stockage.</li> <li>- Les locaux et armoires font l'objet d'un nettoyage régulier (aucune accumulation de poussières observable).</li> </ul>

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C – 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
2- Localisation : Espace poudre, zone circulation et espace machines									
Chute accidentelle lors du transfert des poudres neuves ou usagées (transfert de poudres vers l'une des salles machine ou retour de poudres usagées vers l'espace poudre)	D	2 <sup>nd</sup>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Transfert de la poudre sur des chariots avec des barrières prévenant la chute d'un contenant de poudre</li><li>- Gant, tenue ignifuge antistatique</li><li>- Conteneurs de poudres neuves et bidon de poudres usagées résistants aux chutes à hauteur d'homme (fermeture verrouillée et hermétique)</li></ul>	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide si :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Les conteneurs restent hermétiquement fermés.</li><li>- Le fournisseur de conteneurs garantit la résistance des conteneurs aux chutes à hauteur d'homme.</li><li>- Bidon de poudres usagées propre et régulièrement nettoyés.</li><li>- Bidon de poudres usagées avec système de fermeture verrouillé après remplissage pour éviter tout risque de déversement accidentel (résistant à une chute à hauteur d'homme).</li></ul> <b>► Passage zonage 22 sur 3 m</b> autour des transferts de poudres si non-respect de ces recommandations. <b>Recommandation :</b> Prévoir un mode opératoire en cas de chute accidentelle et de déversement d'un conteneur ou bidon de poudres.

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C - 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>3- Localisation : Espace banc instrumenté « 3DS »</b>									
Préparation de la poudre pour une fabrication – Mélange de la poudre neuve et de la poudre usagée Opération durant quelques minutes (degré 1 <sup>er</sup> )	D	1 <sup>er</sup>	- Mélange réalisé sous sorbonne avec extraction et filtration humide (système d'extraction de la pièce) - Gant, tenue ignifuge antistatique	1 <sup>er</sup>	21	Intérieur de la sorbonne et au niveau des gaines d'aspiration jusqu'à la zone de filtration humide	IIIC	T2 <sup>2</sup>	<b>Note</b> : la défaillance de la filtration humide est intégrée avec un zonage 22 en sortie du système. <b>Zonage valide si</b> : - Le diamètre des conduits doit être calculé pour obtenir une vitesse de transport de l'ordre de <b>18 à 20 m/s</b> et le débit d'air extrait est tel que la vitesse dans les ouvertures de la sorbonne soit supérieur à <b>0,5 m/s</b> (réf. [8]). - Si non perceptible, système avertissant d'une panne de la ventilation. <b>Recommandation</b> : Prévoir un protocole d'arrêt des opérations sur panne de la ventilation.
					22	Au niveau de la ventilation, en sortie de la zone de filtration humide			

<sup>2</sup> Valeur la plus faible entre (2/3 de T° nuage) et (T° couche -75°C), réf. [10].

De manière conservative :

- Classe de température des poussières d'Aluminium = min ((2/3 x 550) et (490-75)) = 365 °C
- Classe de température des poussières de Ti64 = min ((2/3 x 710) et (400-75))= 325 °C

Ainsi la classe de température finale = min (365 et 325) = 325°C = classe T2 (300 °C maximum)

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C - 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>3- Localisation : Espace banc instrumenté « 3DS »</b>									
Chute accidentelle lors du transfert du mélange de poudre vers le tamiseur	D	2 <sup>nd</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conteneurs hermétiques résistants aux chutes à hauteur d'homme, fermés avant la sortie de la sorbonne</li> <li>- Transfert de la poudre sur des chariots avec des barrières prévenant la chute d'un contenant de poudre</li> <li>- Gant &amp; tenue ignifuge antistatique</li> </ul>	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide si :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les conteneurs restent hermétiquement fermés et verrouillés et résistent à une chute à hauteur d'homme.</li> <li>- Aucune manipulation des conteneurs ouverts hors sorbonne.</li> <li>► Passage zonage 22 sur 3 m autour de la zone de manipulation si non-respect de ces préconisations.</li> </ul>

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C - 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>3- Localisation : Espace banc instrumenté « 3DS »</b>									
Préparation de la poudre pour une fabrication – Remplissage d'un tamiseur Opération durant quelques minutes (degré 1 <sup>er</sup> )	D	1 <sup>er</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remplissage du tamiseur réalisé sous bras aspirant de l'aspirateur humide</li> <li>- Gant, tenue ignifuge antistatique</li> <li>- Système de fermeture du conteneur en fin d'opération (contenant hermétique et résistant à une chute à hauteur d'homme)</li> </ul>	1 <sup>er</sup>	21	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 m autour de l'orifice de remplissage avec une extension verticale jusqu'au sol et intérieur du module de tamisage</li> <li>- Au niveau de l'aspiration jusqu'à la zone de filtration humide</li> </ul>	IIIC	T2	<p><b>Note :</b> la défaillance de la filtration humide est intégrée avec un zonage 22 en sortie du système.</p> <p><b>Zonage valide si :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le diamètre des conduits (aspirateur) doit être calculé pour obtenir une vitesse de transport de l'ordre de <b>18 à 20 m/s</b>.</li> <li>- Le conteneur est hermétiquement fermé en fin de processus avant toute manipulation.</li> </ul> <p><b>Recommandation :</b></p> <p>Il est recommandé d'utiliser un dispositif enveloppant pour le système de bras aspirant pour éviter le dégagement d'un nuage de poussière lors de l'aspiration (avec protocole de déversement à l'intérieur du dispositif).</p> <p>Le débit d'air extrait est tel que la vitesse dans les ouvertures du système enveloppant soit supérieur à <b>0,5 m/s</b> (réf. [8]).</p> <p>► Possibilité de passer en zone 22 sur 1 m autour de l'orifice du dispositif enveloppant si les recommandations ci-dessus sont respectées (zone 21 maintenue à l'intérieur du dispositif enveloppant, du module et de l'aspiration).</p>
					22	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 m autour de la zone 21 définie</li> <li>- Au niveau de la ventilation, en sortie de la zone de filtration humide</li> </ul>			

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C - 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>3- Localisation : Espace banc instrumenté « 3DS »</b>									
Préparation de la poudre pour une fabrication – Tamisage sous atmosphère contrôlée Opération durant une à deux heures (degré C)	D	C	- Tamisage réalisé au sein d'un module sous inertage à l'argon fiable et contrôlé - Gant, tenue ignifuge antistatique	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide tant que l'inertage est fiable et contrôlé :</b> La machine est équipée d'un module de sécurité et de deux capteurs d'oxygène (un en %, l'autre en ppm). Ce système assure que le tamisage soit impossible à mettre en route (pas d'alimentation électrique) si le taux d'oxygène détecté par les deux capteurs est supérieur à 100 ppm.

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C - 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>3- Localisation : Espace banc instrumenté « 3DS »</b>									
Préparation de la poudre pour une fabrication – Tamisage sous atmosphère non contrôlée si quantité de poussière plus faible Opération durant une dizaine de minute (degré 1 <sup>er</sup> )	D	1 <sup>er</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tamisage réalisé sous sorbonne munie d'un aspirateur humide avec bras aspirant empêchant l'accumulation des poussières</li> <li>- Tamiseur hermétique ou muni d'une extraction ou très faible quantité de poussières générées</li> <li>- Gant, tenue ignifuge antistatique</li> </ul>	1 <sup>er</sup>	21	Intérieur de la sorbonne et au niveau de l'aspiration jusqu'à la zone de filtration humide	IIIC	T2	<p><b>Note</b> : la défaillance de la filtration humide est intégrée avec un zonage 22 en sortie du système.</p> <p><b>Zonage valide si :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Débit d'extraction d'air égal à <b>900 m<sup>3</sup>/h par m<sup>2</sup> de grille de tamisage</b>, afin d'éviter une accumulation de poussières à l'intérieur du crible tout en respectant une vitesse de <b>1 m/s</b> dans les ouvertures du crible.</li> </ul> <p>OU</p> <p>Tamiseur hermétiquement fermé à l'intérieur de la sorbonne.</p> <p>OU</p> <p>Absence de quantité significative de poussières générées lors du tamisage et nettoyage systématique de la sorbonne après tamisage.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Débit d'air extrait est tel que la vitesse dans les ouvertures de la sorbonne est supérieur à <b>0,5 m/s</b> (réf. [8]).</li> </ul>
					22	Au niveau de la ventilation, en sortie de la zone de filtration humide			

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C - 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>3- Localisation : Espace banc instrumenté « 3DS »</b>									
Chute accidentelle lors du transfert de la poudre tamisée vers la machine	D	2 <sup>nd</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transfert de la poudre sur des chariots avec des barrières prévenant la chute d'un contenant de poudre</li> <li>- Gant &amp; tenue ignifuge antistatique</li> <li>- Conteneurs hermétiques résistants aux chutes à hauteur d'homme</li> <li>- Fermeture des conteneurs avant toutes manipulations.</li> </ul>	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide si :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les conteneurs restent hermétiquement fermés.</li> <li>- Les conteneurs sont verrouillés et résistent à une chute à hauteur d'homme.</li> <li>- La fermeture des conteneurs est opérée avant toute manipulation.</li> </ul>



Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C - 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>3- Localisation : Espace banc instrumenté « 3DS »</b>									
Remplissage des réservoirs de la machine 3DS Opération durant une dizaine de minute (degré 1 <sup>er</sup> )	D	1 <sup>er</sup>	- Présence d'un aspirateur humide avec bras aspirant - Gant, tenue ignifuge antistatique	1 <sup>er</sup>	21	- 1 m autour des réservoirs de la machine avec une extension verticale vers le bas jusqu'au sol - Au niveau de l'aspiration jusqu'à la zone de filtration humide	IIIC	T2	<b>Note :</b> la défaillance de la filtration humide est intégrée avec un zonage 22 en sortie du système. <b>Recommandations :</b> Il est recommandé d'utiliser un dispositif enveloppant pour le système de bras aspirant pour éviter le dégagement d'un nuage de poussière lors de l'aspiration. Il est à noter que le diamètre des conduits de l'aspirateur doit être calculé pour obtenir une vitesse de transport de l'ordre de <b>18 à 20 m/s</b> et le débit d'air extrait est tel que la vitesse dans les ouvertures du système enveloppant soit supérieur à <b>0,5 m/s</b> (réf. [8]). ► Possibilité de passer en zone 22 sur 1 m autour des réservoirs de la machine si les recommandations ci-dessus sont respectées (zone 21 maintenue à l'intérieur du dispositif enveloppant et de l'aspiration).
					22	- 3 m autour de la zone 21 définie - Au niveau de la ventilation, en sortie de la zone de filtration humide			

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C - 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>3- Localisation : Espace banc instrumenté « 3DS »</b>									
Intérieur de la machine ProX DMP320 lors de son fonctionnement – 3DS Opération durant plusieurs heures (degré C)	D	C	- Inertage interne à l'argon de la machine lors de son utilisation	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide tant que l'inertage est fiable et contrôlé :</b> La machine est équipée d'un module de sécurité et de deux capteurs d'oxygène (un en %, l'autre en ppm). Ce système assure que le laser et le système de recirculation d'argon sont impossibles à mettre en route (pas d'alimentation électrique) si le taux d'oxygène détecté par les deux capteurs est supérieur à 100 ppm.

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C - 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>3- Localisation : Espace banc instrumenté « 3DS »</b>									
Dépoudrage primaire du plateau Opération durant une dizaine de minute (degré 1 <sup>er</sup> )	D	1 <sup>er</sup>	- Aspirateur humide avec bras aspirant - Gant, tenue ignifuge antistatique	1 <sup>er</sup>	21	- 1 m autour du plateau avec une extension verticale vers le bas jusqu'au sol - Au niveau de l'aspiration jusqu'à la zone de filtration humide	IIIC	T2	<b>Note :</b> la défaillance de la filtration humide est intégrée avec un zonage 22 en sortie du système. <b>Zonage valide si :</b> Le diamètre des conduits de l'aspirateur humide doit être calculé pour obtenir une vitesse de transport de l'ordre de <b>18 à 20 m/s</b> (réf. [8]). <b>Recommandation 1 :</b> Si le débit d'air extrait est tel que la vitesse dans les ouvertures de la machine est supérieure à <b>0,5 m/s</b> (réf. [8]), alors la zone 21 est limitée à l'intérieur de la machine et du système d'aspiration (zone 22 sur 1 m autour de la machine) <b>Recommandation 2 :</b> Nous recommandons un inertage de l'étape de dépoudrage primaire pour passage en HZ.
					22	- 3 m autour de la zone 21 définie - Au niveau de la ventilation, en sortie de la zone de filtration humide			

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C-1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>3- Localisation : Espace banc instrumenté « 3DS »</b>									
Extraction du plateau, nettoyage de la chambre de construction Opération durant une dizaine de minute (degré 1 <sup>er</sup> ) Hypothèse : pas de dépôt de poudres significatifs mais présence de résidus	D	1 <sup>er</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aspirateur humide avec bras aspirant</li> <li>- Gant, tenue ignifuge antistatique</li> <li>- Isolement du plateau pour transport dans un récipient hermétique</li> <li>- Suite au dépoufrage primaire, vérification l'absence de dépôt significatif sur la pièce ou dans la machine.</li> </ul>	2 <sup>nd</sup>	21	Au niveau de l'aspiration jusqu'à la zone de filtration humide	IIIC	T2	<p><b>Note</b> : la défaillance de la filtration humide est intégrée avec un zonage 22 en sortie du système.</p> <p><b>Zonage valide si :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diamètre des conduits de l'aspirateur calculé pour obtenir une vitesse de transport de l'ordre de <b>18 à 20 m/s</b> (réf. [8]).</li> <li>- Suite au dépoufrage primaire, vérifier l'absence de dépôt ou nuage significatif sur la pièce ou dans la machine.</li> <li>- Transport du plateau dans un récipient évitant l'envol des résidus de poudres.</li> </ul>
					22	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intérieur de la machine</li> <li>- 1 m autour du plateau jusqu'à isolement dans un récipient (puis intérieur du récipient)</li> <li>- Au niveau de la ventilation, en sortie de la zone de filtration humide</li> </ul>			

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C - 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>3- Localisation : Espace banc instrumenté « 3DS »</b>									
Chute accidentelle du plateau lors du transfert vers le dépoudrage secondaire	D	2 <sup>nd</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suite au dépoudrage primaire, vérifier l'absence de dépôt significatif sur la pièce</li> <li>- Transfert du plateau sur des chariots avec des barrières prévenant la chute d'un contenant de poudre</li> <li>- Plateau isolé dans un récipient</li> </ul>	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide si :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suite au dépoudrage primaire, vérifier l'absence de dépôt ou nuage significatif sur la pièce ou dans la machine.</li> <li>- Transport du plateau dans un récipient évitant l'envol des résidus de poudres.</li> </ul>
Dépoudrage secondaire du plateau Opération durant une dizaine de minute (degré 1 <sup>er</sup> )	D	1 <sup>er</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Opération se déroulant dans une cabine vibrante aspirante SFM – AT800</li> <li>- Gant, tenue ignifuge antistatique</li> <li>- Suite au dépoudrage primaire, vérifier l'absence de dépôt significatif sur la pièce</li> </ul>	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide si :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suite au dépoudrage primaire, vérifier l'absence de dépôt ou nuage significatif sur la pièce ou dans la machine.</li> </ul>

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C - 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>3- Localisation : Espace banc instrumenté « 3DS »</b>									
Transfert de la poudre usagée au sein de récipients ouverts « cendriers » vers le conteneur pour un recyclage et chargement du tamiseur Opération durant une dizaine de minute (degré 1 <sup>er</sup> )	D	1 <sup>er</sup>	- Opération sous bras aspirant (filtration humide) - Gant, tenue ignifuge antistatique	1 <sup>er</sup>	21	- 1 m autour de la zone de transfert des cendriers avec une extension verticale vers le bas jusqu'au sol - Au niveau de l'aspiration jusqu'à la zone de filtration humide	IIIC	T2	<b>Note</b> : la défaillance de la filtration humide est intégrée avec un zonage 22 en sortie du système. <b>Recommandations</b> : - Il est recommandé d'utiliser un dispositif enveloppant lors du déversement pour le système de bras aspirant pour éviter le dégagement de nuage de poussière lors du transfert. Il est à noter que le diamètre des conduits du bras aspirant doit être calculé pour obtenir une vitesse de transport de l'ordre de <b>18 à 20 m/s</b> et le débit d'air extrait est tel que la vitesse dans les ouvertures du système enveloppant soit supérieur à <b>0,5 m/s</b> (réf. [8]). - Privilégier le transfert dans des contenants fermés ce qui permettra de limiter le dégagement de poussières inflammables - Il est recommandé de transporter ces contenants fermés dans des chariots munis de barres d'appoint empêchant la chute de contenants. ► Possibilité de passer en zone 22 autour de la zone de transfert si les recommandations ci-dessus sont respectées (zone 21 maintenue à l'intérieur du dispositif enveloppant et de l'aspiration).
					22	- 3 m autour de la zone 21 définie - Au niveau de la ventilation, à partir de la zone de filtration humide			

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C - 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>3- Localisation : Espace banc instrumenté « 3DS »</b>									
Reconditionnement de la poudre usagée pour la fabrication suivante : Tamisage sous atmosphère contrôlée Opération durant quelques heures (degré C)	D	C	- Tamisage réalisé au sein du module sous inertage à l'argon - Gant, tenue ignifuge antistatique	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide si :</b> La machine est équipée d'un module de sécurité et de deux capteurs d'oxygène (un en %, l'autre en ppm). Ce système assure que le tamisage soit impossible à mettre en route (pas d'alimentation électrique) si le taux d'oxygène détecté par les deux capteurs est supérieur à 100 ppm.
Reconditionnement de la poudre usagée pour la fabrication suivante : Transvasement de la poudre usagée et tamisée au sein d'un bidon Opération durant une dizaine de minute (degré 1 <sup>er</sup> )	D	1 <sup>er</sup>	- Transvasement réalisé sous sorbonne munie d'un système aspirant avec filtration humide - Gant, tenue ignifuge antistatique - Bidon de poudres usagées hermétiquement fermé et verrouillé	1 <sup>er</sup>	21	- À l'intérieur de la sorbonne - Au niveau de l'aspiration jusqu'à la zone de filtration humide	IIIC	T2	<b>Note :</b> la défaillance de la filtration humide est intégrée avec un zonage 22 en sortie du système. <b>Zonage valide si :</b> - Le diamètre des conduits de la ventilation sorbonne doit être calculé pour obtenir une vitesse de transport de l'ordre de <b>18 à 20 m/s</b> et le débit d'air extrait est tel que la vitesse dans les ouvertures de la sorbonne soit supérieur à <b>0,5 m/s</b> (réf. [8]). - Bidon fermé et verrouillé avant d'être manipulé hors de la sorbonne
					22	- Au niveau de la ventilation, en sortie de la zone de filtration humide			

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C-1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>3- Localisation : Espace banc instrumenté « 3DS »</b>									
Déversement accidentel lors du stockage des poudres usagées	D	2 <sup>nd</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Système de ventilation par aspiration humide dans le local</li> <li>- Bidon de poudres usagées hermétiquement fermé et verrouillé</li> <li>- Transfert des bidons sur des chariots avec des barrières prévenant la chute d'un contenant de poudre</li> </ul>	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide si :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bidon fermé et verrouillé avant d'être manipulé hors de la sorbonne.</li> <li>- Transfert sur des chariots protégeant les bidons d'une chute.</li> <li>► Passage zonage 22 sur 3 m autour des points de chute possible des bidons de poudres si non-respect de ces recommandations.</li> </ul> <b>Recommandation :</b> Choisir un endroit de stockage éloigné au maximum des activités des opérateurs limitant le risque de collision et donc de dégagement accidentel de poussières inflammables.



Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C - 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>3- Localisation : Espace banc instrumenté « 3DS »</b>									
Nettoyage complet de la machine et changement de matériau Opération durant 3 h une vingtaine de fois dans l'année (degré 1 <sup>er</sup> )	D	1 <sup>er</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Opération sous bras aspirant (filtration humide).</li> <li>- Gant, tenue ignifuge antistatique.</li> <li>- S'assurer que le nettoyage quotidien de la machine (dépoudrage primaire, nettoyage cabine...) est suffisant pour s'assurer de l'absence de dépôt significatif dans la machine.</li> </ul>	2 <sup>nd</sup>	21	Au niveau de l'aspiration jusqu'à la zone de filtration humide	IIIC	T2	<p><b>Note</b> : la défaillance de la filtration humide est intégrée avec un zonage 22 en sortie du système.</p> <p><b>Zonage valide si</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diamètre des conduits de l'aspirateur calculé pour obtenir une vitesse de transport de l'ordre de <b>18 à 20 m/s</b> (réf. [8]).</li> <li>- Suite aux différents dépoudrages primaires, vérifier l'absence de dépôt significatif dans la machine.</li> </ul>
					22	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intérieur de la machine</li> <li>- Au niveau de la ventilation, en sortie de la zone de filtration humide</li> </ul>			

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C – 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>4- Localisation : Espace machine ouverte « AddUp »</b>									
Préparation de la poudre pour une fabrication – Mélange de la poudre neuve et de la poudre usagée et remplissage de la cartouche Opération durant une dizaine de minute (degré 1 <sup>er</sup> )	D	1 <sup>er</sup>	- Mélange réalisé sur un établi muni d'un aspirateur humide avec bras aspirant empêchant l'accumulation des poussières - Gant, tenue ignifuge antistatique	1 <sup>er</sup>	21	- 1 m autour de l'établi - Au niveau de l'aspirateur jusqu'à la zone de filtration humide	IIIC	T2	<b>Zonage valable si :</b> Le diamètre des conduits de l'aspirateur doit être calculé pour obtenir une vitesse de transport de l'ordre de <b>18 à 20 m/s</b> <b>Recommandation 1 (exclusive à la recommandation 2) :</b> Il est recommandé d'utiliser un dispositif enveloppant pour le système de bras aspirant pour éviter le dégagement de nuage de poussière lors de l'aspiration. Le débit d'air extrait est tel que la vitesse dans les ouvertures du système enveloppant est supérieur à <b>0,5 m/s</b> (réf. [8]). ► Cette recommandation permet de limiter la zone 21 à l'intérieur du dispositif enveloppant et de l'aspiration <b>Recommandation 2 (exclusive à la recommandation 1) :</b> Utilisation d'une boîte à gants hermétique (si ventilation dans la boîte à gant, assurer un débit d'extraction similaire à la sorbonne, soit une vitesse des conduits d'extraction de l'ordre de <b>18 à 20 m/s</b> et une vitesse de l'air aux ouvertures supérieur à <b>0,5 m/s</b> ). ► Cette recommandation permet de limiter la zone 21 à l'intérieur de la boîte à gants et du système d'aspiration
					22	- 3 m à partir de la zone 21 identifiée - Au niveau de l'aspiration, en sortie de la zone de filtration humide			

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C - 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>4- Localisation : Espace machine ouverte « AddUp »</b>									
Chute accidentelle lors du transfert du mélange de poudre vers le tamiseur	D	2 <sup>nd</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conteneurs hermétiques résistants aux chutes à hauteur d'homme, fermés avant manipulation hors établi</li> <li>- Transfert de la poudre sur des chariots avec des barrières prévenant la chute d'un contenant de poudre</li> <li>- Gant &amp; tenue ignifuge antistatique</li> </ul>	2 <sup>nd</sup>	22	3 m autour de l'établi avec une extension verticale vers le bas jusqu'au sol	-	-	<p><b>Note :</b> maintien d'un risque de chute du conteneur ouvert sur l'établi, non muni d'un dispositif d'isolement (type sorbonne ou boîte à gants), zonage défini moins restrictif que lors de l'opération de préparation</p> <p><b>Zonage valide si :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les conteneurs restent hermétiquement fermés et verrouillés et résistent à une chute à hauteur d'homme.</li> <li>- Aucune manipulation des conteneurs ouverts hors établi.</li> </ul> <p>► Passage zonage 22 sur 3 m autour des zones de manipulation et transfert si non-respect de ces préconisations.</p> <p><b>Recommandation :</b></p> <p>Utilisation d'un dispositif d'isolement type sorbonne ou boîte à gants (hermétique ou avec extraction assurant une vitesse dans les conduits de l'ordre de <b>18 à 20 m/s</b> et une vitesse de l'air aux ouvertures supérieur à <b>0,5 m/s</b>).</p> <p>► Cette recommandation permet de limiter la zone 22 à l'intérieur du système</p>

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C – 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>4- Localisation : Espace machine ouverte « AddUp »</b>									
Préparation de la poudre pour une fabrication – Tamisage sous atmosphère contrôlée Opération durant une à deux heures (degré C)	D	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tamisage réalisé sous inertage à l'argon fiable</li> <li>- Gant, tenue ignifuge antistatique</li> </ul>	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide si :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lors de la mise en route et périodiquement dans le plan de maintenance l'étanchéité de la chambre est contrôlée en pression.</li> <li>- Présence de deux détecteurs d'oxygène mesurant le taux d'oxygène en temps réel dans la chambre mettant la machine en sécurité en arrêtant le tamisage dans le cas de l'atteinte de seuils bas et critiques d'oxygène.</li> </ul>
Déversement accidentel des poussières lors du montage des conteneurs sur la machine AddUp	D	2 <sup>nd</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Présence d'un aspirateur humide avec bras aspirant</li> <li>- Gant, tenue ignifuge antistatique</li> <li>- Cartouche hermétique chargé sur un convoyeur (gerbeur électrique adaptée au transport de la cartouche)</li> <li>- Cartouche transportée depuis la zone de préparation vers la machine et chargement de la machine par le convoyeur</li> <li>- Système de branchement à la machine permettant le transfert de la poudre depuis la cartouche.</li> </ul>	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valable si :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensemble des opérations menées par le convoyeur, sans manipulation humaine.</li> <li>- Poudre reprise par la machine directement de la cartouche, sans transvasement.</li> </ul>

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C – 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>4- Localisation : Espace machine ouverte « AddUp »</b>									
Intérieur de la machine Formup 350 – AddUp Opération durant plusieurs heures (degré C)	D	C	- Inertage à l'argon fiable de la machine lors de son utilisation	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide à condition que l'inertage soit maintenu fiable :</b> - Lors de la mise en route et périodiquement dans le plan de maintenance l'étanchéité de la chambre est contrôlée en pression. - Présence de deux détecteurs d'oxygène mesurant le taux d'oxygène en temps réel dans la chambre mettant la machine en sécurité dans le cas de l'atteinte de seuils bas et critiques d'oxygène.
Dépoudrage primaire du plateau – aspiration de la poudre non fusionnée après fabrication du plateau (étape se déroulant à l'intérieur de la machine) Opération durant une dizaine de minute (degré 1 <sup>er</sup> )	D	1 <sup>er</sup>	- Opération sous atmosphère inertée à l'argon - Opération sous boîte à gants interne à la machine - Gant, tenue ignifuge antistatique	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide à condition que l'inertage soit maintenu fiable :</b> - Lors de la mise en route et périodiquement dans le plan de maintenance l'étanchéité de la chambre est contrôlée en pression ; - Présence de deux détecteurs d'oxygène mesurant le taux d'oxygène en temps réel dans la chambre mettant la machine en sécurité dans le cas de l'atteinte de seuils bas et critiques d'oxygène.

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C – 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>4- Localisation : Espace machine ouverte « AddUp »</b>									
Extraction du plateau, nettoyage de la chambre de construction Opération durant une dizaine de minute (degré 1 <sup>er</sup> )	D	1 <sup>er</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si poudre non réactive : aspiration par voie sèche ATEX</li> <li>- Si poudre réactive : aspiration avec un séparateur voie humide afin de passer la poudre et maîtriser le risque incendie</li> <li>- Gant, tenue ignifuge antistatique</li> <li>- Isolement du plateau pour transport dans un récipient hermétique</li> <li>- Suite au dépoudrage primaire, vérification de l'absence de dépôt significatif sur la pièce ou dans la machine.</li> </ul>	2 <sup>nd</sup>	20	Système de filtration par voie sèche ATEX	IIIC	T2	<b>Notes :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La défaillance de la filtration est intégrée avec un zonage 22 en sortie du système.</li> <li>- Le zonage 20 concerne la zone d'accumulation des poudres par filtration par voie sèche.</li> </ul> <b>Zonage valide si :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diamètre des conduits de l'aspirateur calculé pour obtenir une vitesse de transport de l'ordre de <b>18 à 20 m/s</b> (réf. [8]).</li> <li>- Suite au dépoudrage primaire, vérifier l'absence de dépôt ou nuage significatif sur la pièce ou dans la machine.</li> <li>- Transport du plateau dans un récipient évitant l'envol des résidus de poudres.</li> </ul>
					21	Au niveau de l'aspiration jusqu'à la zone de filtration			
					22	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intérieur de la machine</li> <li>- 1 m autour du plateau jusqu'à isolement dans un récipient (puis intérieur du récipient)</li> <li>- Au niveau de la ventilation, en sortie de la zone de filtration (sèche ou humide)</li> </ul>			
Chute accidentelle du plateau lors du transfert vers le dépoudrage secondaire	D	2 <sup>nd</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suite au dépoudrage primaire, vérifier l'absence de dépôt significatif sur la pièce</li> <li>- Transfert du plateau sur des chariots avec des barrières prévenant la chute d'un contenant de poudre</li> <li>- Plateau isolé dans un récipient</li> </ul>	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide si :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suite au dépoudrage primaire, vérifier l'absence de dépôt ou nuage significatif sur la pièce ou dans la machine.</li> <li>- Transport du plateau dans un récipient évitant l'envol des résidus de poudres.</li> </ul>

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C – 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>4- Localisation : Espace machine ouverte « AddUp »</b>									
Dépoudrage secondaire du plateau Opération durant une trentaine de minutes (degré 1 <sup>er</sup> )	D	1 <sup>er</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Opération se déroulant dans une cabine vibrante aspirante SFM – AT800</li> <li>- Gant, tenue ignifuge antistatique</li> <li>- Quantité restante de la poudre de titane sur le plateau est jugée faible pour générer une ATEX (concentration inférieure à la concentration minimum d'explosivité).</li> <li>- Suite au dépoudrage primaire, vérifier l'absence de dépôt significatif sur la pièce</li> </ul>	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide si :</b> Suite au dépoudrage primaire, vérifier l'absence de dépôt ou nuage significatif sur la pièce ou dans la machine.
Retrait des cartouches et dépose des cartouches dans le chariot de manutention/transfert Opération durant une dizaine de minute (degré 1 <sup>er</sup> )	D	2 <sup>nd</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventilation par aspiration du local</li> <li>- Chariot de manutention des cartouches</li> </ul>	2 <sup>nd</sup>	22	3 m autour du module cartouche, étendue jusqu'au sol	IIIC	T2	<b>Zonage valable si :</b> Absence de transvasement de poudres générant un nuage de poussières. <b>Recommandation :</b> Prévoir un mode opératoire permettant de réduire le risque de chute accidentelle (fermeture de la cartouche possible avant toute manipulation, notamment...) ► Passage HZ si risque de déversement accidentel maîtrisé

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C - 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>4- Localisation : Espace machine ouverte « AddUp »</b>									
Reconditionnement de la poudre usagée pour la fabrication suivante : Tamisage sous atmosphère contrôlée Opération durant quelques heures (degré C)	D	C	- Tamisage réalisé sous inertage à l'argon fiable - Gant, tenue ignifuge antistatique	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide à condition que l'inertage soit maintenu fiable :</b> - Lors de la mise en route et périodiquement dans le plan de maintenance l'étanchéité de la chambre est contrôlée en pression - Présence de deux détecteurs d'oxygène mesurant le taux d'oxygène en temps réel dans la chambre mettant la machine en sécurité (arrêt tamis) dans le cas de l'atteinte de seuils bas et critiques d'oxygène.
Déversement accidentel lors du stockage des poudres usagées	D	2 <sup>nd</sup>	- Système de ventilation par aspiration humide dans le local - Bidon de poudres usagées hermétiquement fermé et verrouillé - Transfert des bidons sur des chariots avec des barrières prévenant la chute d'un contenant de poudre	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide si :</b> - Bidon fermé et verrouillé avant d'être manipulé hors du tamiseur. - Transfert sur des chariots protégeant les bidons d'une chute. ► Passage zonage 22 sur 3 m autour des points de chute possible des bidons de poudres si non-respect de ces recommandations. <b>Recommandation :</b> Choisir un endroit de stockage éloigné au maximum des activités des opérateurs limitant le risque de collision et donc de dégagement accidentel de poussières inflammables.



Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C – 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>4- Localisation : Espace machine ouverte « AddUp »</b>									
Nettoyage complet de la machine et changement de matériau Opération durant 12 h environ toutes les 3 à 6 semaines par an (degré 1 <sup>er</sup> )	D	1 <sup>er</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Opération sous bras aspirant (filtration).</li> <li>- Gant, tenue ignifuge antistatique.</li> <li>- S'assurer que le nettoyage quotidien de la machine (dépoudrage primaire, nettoyage cabine...) permet de retirer un maximum de poudres.</li> </ul>	2 <sup>nd</sup>	21	Au niveau de l'aspiration jusqu'à la zone de filtration	IIIC	T2	<b>Note</b> : la défaillance de la filtration est intégrée avec un zonage 22 en sortie du système. <b>Zonage valide si</b> : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diamètre des conduits de l'aspirateur calculé pour obtenir une vitesse de transport de l'ordre de <b>18 à 20 m/s</b> (réf. [8]).</li> <li>- Suite aux différents dépoudrages primaires, vérifier l'absence de dépôt important dans la machine.</li> </ul>
					22	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intérieur de la machine</li> <li>- Au niveau de la ventilation, en sortie de la zone de filtration</li> </ul>			

Dégagement					Classement de zone				
Source de dégagement	G/D	Degré de dégagement : C - 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>nd</sup>	Mesures de prévention vis à vis de la formation d'une atmosphère explosive	Degré de dégagement résiduel	Niveau de zone	Etendue de la zone	Groupe de gaz ou poussière	Classe de température	Observations / Recommandations
<b>5- Localisation : Espace déchets</b>									
Disposition conteneurs vides, filtres usagés, boues d'aspiration et récupération des boues dans des cuves en vue d'un transfert au sous-traitant pour traitement	D	2 <sup>nd</sup>	- Inertage des conteneurs vides et aspirateurs pour éviter de générer des nuages de poussières explosives - Système de ventilation par extraction	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide si :</b> Inertage des conteneurs vides et aspirateurs pour éviter de générer des nuages de poussières explosives
<b>6- Localisation : SAS Extérieur</b>									
Disposition des matériels usagers avant prise en charge par le sous-traitant pour traitement Livraison des conteneurs de poudres neuves	D	2 <sup>nd</sup>	- Ventilation naturelle - Boues et équipements rincés à l'eau	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide si :</b> - Les conteneurs de poudres usagées ou neuves restent hermétiquement fermés. - Le fournisseur de conteneurs garantit leur résistance aux chutes à hauteur d'homme, sinon passage en zone 22.
<b>7- Localisation : Circulation et vestiaire</b>									
Zone de circulation sans manipulation ou transfert de poudre (pièces terminées et dépoussiérées) et vestiaire attenant. Présence éventuelle de poudre à l'état résiduel sur les vêtements et pièces terminées notamment.	D	2 <sup>nd</sup>	- Nettoyage des locaux et des vêtements de travail à fréquence élevée	-	HZ	-	-	-	<b>Zonage valide si :</b> Nettoyage des locaux et des vêtements de travail à une fréquence empêchant toute accumulation visible de poussières dans les espaces circulation et vestiaire

### 3.2.4 Conclusions / Recommandations

D'après les résultats de classement de zones ATEX présentés dans le § 3.2.3, la maîtrise du risque ATEX du nouveau laboratoire est essentiellement conditionnée par :

- Systématisation des opérations de nettoyage des machines et équipements mettant en œuvre les poussières inflammables afin d'éviter l'accumulation des poussières inflammables et de maintenir les surfaces exempts de dépôts,
- Réalisation de la meilleure étanchéité possible des appareils et machines afin d'éviter toute fuite,
- Exclusion au maximum des manutentions pouvant produire des nuages de poussières,
- Eviter dans les appareils toute accumulation d'énergie créée par les frottements et mouvements divers par :
  - Mise à la terre et liaison équipotentielle des appareils entre eux
  - Travail en atmosphère inerte
- Soumission du système d'extraction à des visites régulières et à des opérations de contrôle et d'entretien,
- Respect des procédures de nettoyage (en utilisant un aspirateur certifié ATEX et conçu pour aspirer des poussières inflammables, cf. § 4),
- Obligation de stocker les poudres neuves dans des conteneurs hermétiquement isolés. Le constructeur de ces conteneurs doit valider leur aptitude à résister à des chutes à hauteur d'homme,
- Respect des recommandations en rapport avec toutes les opérations de manipulation, chargement et mélange manuel des poussières,
- Utiliser des dispositifs de confinement type sorbonne pour éviter le dégagement de nuage de poussière lors diverses opérations (tamisage, transbordements...). Le diamètre des conduits et le débit d'extraction doit être calculé pour obtenir une vitesse de transport de l'ordre de **18 à 20 m/s** et le débit d'air extrait est tel que la vitesse dans les ouvertures d'arrivée air frais des sorbonnes soit supérieur à **0,5 m/s** (réf. [8]),
- Pour ce qui est de l'opération de tamisage manuel au niveau de la machine 3DS, utiliser un débit d'extraction d'air égal à **900 m<sup>3</sup>/h par m<sup>2</sup> de grille de tamisage**, afin d'éviter une accumulation de poussières à l'intérieur du crible tout en respectant une vitesse de **1 m/s** dans les ouvertures,
- Le maintien de la concentration en oxygène sous quelques ppm dans la machine AddUp et 3DS ainsi que des équipements de tamisage inertés,
- La disponibilité et la fiabilité du réseau d'argon lorsque les machines fonctionnent sous atmosphère contrôlée (boucle de détection d'oxygène et actions de mise en sécurité associées). Conformément aux dispositions de la norme NF EN 50495 (réf. [9]), un dispositif de sécurité doit satisfaire un niveau de fiabilité qui est fonction de la réduction du risque d'inflammation du matériel concerné et de la zone ATEX. Par analogie avec cette norme, **il convient de mettre en place une boucle de sécurité (détection d'un seuil élevé d'oxygène à l'intérieur des machines + automate de sécurité + arrêt automatique des sources d'inflammation et d'émission de poussières) et de s'assurer que son niveau d'intégrité de sécurité équivalent à un niveau de SIL2.**

En termes de recommandations, une recommandation technique évoquée dans le rapport fait référence à la mise en œuvre d'un **dispositif enveloppant** adapté sur le bras d'aspiration avec filtration humide. Ce dispositif s'entend comme une enveloppe venant recouvrir le récipient à charger, muni d'un entonnoir pour recevoir le récipient à vider. Ainsi, l'ensemble des sources d'émission sont enveloppées par le système qui confine le nuage de poussières grâce à un débit d'extraction permettant d'assurer une vitesse minimale de 0,5 m/s sur toutes les ouvertures du dispositif (en particulier l'ensemble de la surface de l'entonnoir). Ce dispositif fait référence au guide de l'INRS relatif à l'emploi des matériaux pulvérulents (réf. [8]).

## 4. PRESCRIPTIONS SUR LES MATERIELS A METTRE EN PLACE

Conformément au zonage et à l'entendu des zones définies dans les fiches de zonage paragraphe 3.2.3, un certain nombre de prescriptions est à respecter concernant le matériel électrique et non-électrique à mettre en place.

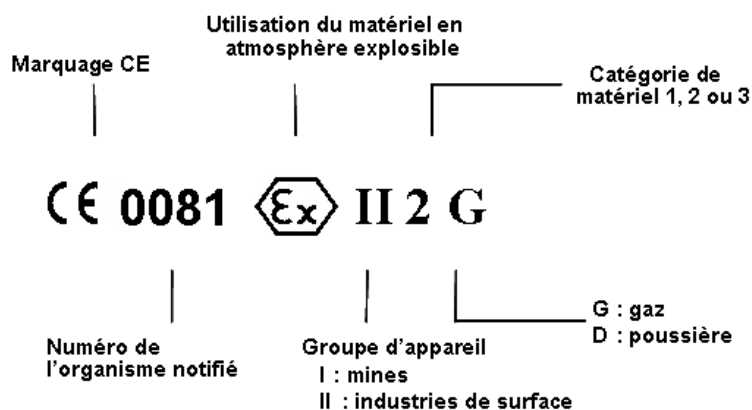
### 4.1. MARQUAGE DES APPAREILS

#### 4.1.1 Principes généraux

Chaque matériel électrique et non-électrique installé doit porter le marquage minimal imposé par son certificat de conformité correspondant.

Le marquage des appareils est décrit ci-dessous.

 **Exemple de marquage principal (depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2003)**



 **Types de protection pour le matériel en zones explosives « poussière »**

Les matériels (électriques et non électriques) installés en zone explosive « poussière » (zone 20, 21 ou 22) doivent bénéficier d'une protection appropriée. Ce type de protection est indiqué sur l'appareil par un marquage du type :

CE ..... Ex II 1D **pour la zone 20 mais également 21 et 22**

CE ..... Ex II 2D **pour la zone 21 mais également 22**

CE ..... Ex II 3D **pour la zone 22**

Rappelons que les matériels bénéficiant d'un moyen de protection propre aux atmosphères explosives gazeuses (par exemple protection par enveloppe antidéflagrante « d » selon NF EN 60079-1), ne sont pas a priori utilisables en zone explosive « poussière ».

## 4.1.2 Zonage et marquage des équipements

Le tableau suivant récapitule le marquage des équipements à mettre en œuvre suivant les zones (ou marquage de catégorie supérieure), ainsi que des exemples d'équipements susceptibles d'être concernés par ces zones au regard du classement du chapitre 3.2.3 (non exhaustif, se référer au classement pour détail).

	Zone	Exemple d'équipements suivant le zonage
<b>CE Ex II 1D T2</b>	20	Système de filtration par voie sèche ATEX pour banc « AddUp »
<b>CE Ex II 2D T2</b>	21	Équipements sorbonnes (éclairage...), système de filtration humide, tamiseur non inerté et 1 m autour, 1 m autour de la machine « 3DS »...
<b>CE Ex II 3D T2</b>	22	Extracteur en sortie de filtration humide, équipements électriques 4 m autour de l'orifice du tamiseur non inerté, 4 m autour de la machine « 3DS », 1 à 3 m autour de la machine « AddUp » suivant emplacement (plateau, cartouche)...

Tableau 2 : Marquage des équipements à mettre en œuvre dans les locaux

## 4.2. LES RÈGLES CONCERNANT LE MATÉRIEL ÉLECTRIQUE

### 4.2.1 Câbles pour tout mode de protection sauf sécurité intrinsèque

Selon la norme NFC 15100, Condition BE3, les câbles présents en zone ATEX doivent être :

- soit des câbles de tension nominale 1000V ;
- soit des câbles < 1000 V mais > 250V plus conditions suivantes simultanément remplies :
  - circuit TBTS,
  - intensité max. < 40mA (même en cas de défaut),
  - deux feuillards en acier avec épaisseur > 0,2 mm.

### 4.2.2 Câbles de sécurité intrinsèque

Selon la norme NF EN 60079-14:2004, les câbles de type A sont des câbles avec écran métallique et les câbles de type B sont des câbles sans écran métallique.

Les câbles de type B doivent être fixes, protégés des dommages mécaniques et séparés (d>8mm) des autres câbles n'étant pas de sécurité intrinsèque.

Les longueurs de chaque liaison devront être telles que les valeurs correspondantes de capacité et d'induction (L et C) devront être inférieures à celles mentionnées dans les documents relatifs aux analyses de boucles.

Le matériel simple tel que décrit dans la norme NF EN 60079-11:2007, doit répondre aux prescriptions de la norme (voir §5.7).

### 4.2.3 Chemins de câble de sécurité intrinsèque

Les chemins de câbles ne doivent pas être surchargés.

Il convient également de respecter les règles de séparation entre le cheminement des câbles « de sécurité intrinsèque » (SI) et des câbles « non de sécurité intrinsèque » (NSI).

#### 4.2.4 Circuits de sécurité intrinsèques

Les associations des matériels certifiés de sécurité intrinsèque avec des matériels associés de sécurité intrinsèque doivent faire l'objet d'un document validant leur combinaison par rapport aux exigences de la norme NF EN 60079-25 (certificat de conformité système, ou attestation de conformité système, ou calcul de boucle).

Le matériel simple tel que décrit dans la norme NF EN 60079-11:2007, doit répondre aux prescriptions de la norme (voir §5.7). L'équipement doit, dans ce cas, être alimenté via une barrière de SI.

#### 4.2.5 Raccordement des masses

Il convient de raccorder systématiquement le conducteur de masse aux bornes de masse des enveloppes.

#### 4.2.6 Boucle sur câble

Il convient de ne pas former de boucle avec les excédents de câble avant raccordement. Au-delà d'une boucle, l'enroulement crée une inductance qui peut nuire à la protection vis-à-vis du risque d'explosion, en particulier pour les dispositifs à sécurité intrinsèque.

### 4.3. LES RÈGLES CONCERNANT LE MATÉRIEL NON-ÉLECTRIQUE

Il convient de rappeler que, dans le cadre de la réglementation ATEX, les équipements non électriques installés en zone explosible après le 30/06/2003 doivent, au même titre que les équipements électriques, être certifiés et marqués « ATEX », afin de garantir qu'ils ne sont pas susceptibles de constituer une source d'inflammation.

Les équipements non électriques installés avant cette date doivent faire l'objet d'une analyse de risque et, si les conclusions de cette analyse démontrent qu'ils répondent aux exigences essentielles de sécurité de la directive, ils doivent être explicitement validés au travers du Document Relatif à la Protection contre les Explosions, prévu à l'article R4227-52 du code du travail.