

Matériel et méthode de caractérisation de l'inflammabilité et de l'explosivité de produits manipulés en alimentation animale

1. Généralités

La capacité d'inflammation et d'explosion d'un produit se traduit par deux critères :

Sa **sensibilité** à l'inflammation pouvant se définir comme « son aptitude à l'inflammation ». La connaissance de celle-ci revêt un aspect important dans le cadre d'une démarche de prévention (définition des températures maximales admissibles sur des surfaces de machines ou corps chauffé, lutte contre l'électricité statique...)

Sa **sévérité** d'explosion exprimant « son comportement en cas d'explosion ». Sa connaissance est exploitée dans le cadre d'une démarche de protection (résistances des appareillages, dimensionnement d'événements...)

La sensibilité à l'inflammation d'un produit peut s'apprécier à partir de plusieurs paramètres, notamment :

L'énergie minimale d'inflammation (EMI),

- **La température minimale d'inflammation en nuage (TMI)**, appelée aussi la température d'auto-inflammation (TAI) en nuage,
- **La température minimale d'inflammation en couche (TMI)**, appelée aussi la température d'auto-inflammation (TAI) en couche
- La **concentration minimale explosive (CME)**
- La sévérité d'explosion d'un produit pulvérulent s'apprécie par deux paramètres :
- **La pression maximale** atteinte lors de l'explosion (notée P_{max})
- **La vitesse maximale de montée en pression** lors de l'explosion, notée $(dP/dt)_{max}$. Ce dernier paramètre va permettre de calculer le K_{st} d'un produit (grandeur explicitée au § 0).

2. Influence des différents paramètres

Les paramètres de sensibilité et d'explosivité sont caractérisés de façon expérimentale avec du matériel de laboratoire. Pour un produit donné, l'expression des résultats expérimentaux des paramètres de sensibilité et d'explosivité est :

fonction de ses caractéristiques physiques tels que :

- **la distribution granulométrique** : généralement plus la granulométrie est fine, plus le produit est sensible.
- **L'activité de l'eau** : généralement plus celle-ci est faible, plus le produit est sensible
- **Le taux de cendre** : généralement plus le taux de cendre est élevé, plus le produit étudié est de composition minérale et moins il est sensible à l'inflammation
- **La résistivité** conditionnée par le matériel de laboratoire utilisé et les modes opératoires de l'expérimentation.

La Figure 1 présente l'influence de la granulométrie des produits pulvérulents sur leurs caractéristiques d'explosivités. Ainsi, pour un même produit pulvérulent :

- plus sa granulométrie est fine, plus il est réactif, c'est-à-dire plus l'explosion est violente (ou sévère) et plus il est sensible à différentes sources d'amorçage,
- plus sa pression maximale et plus sa vitesse maximale de montée en pression de l'explosion sont élevées, plus l'explosion est sévère,
- plus son énergie minimale d'inflammation et plus sa température minimale d'inflammation sont faibles, plus il est sensible à différentes sources d'amorçage.

L'influence de l'humidité d'un produit pulvérulent sur ses caractéristiques d'explosivités est généralement proche de l'influence de la granulométrie.

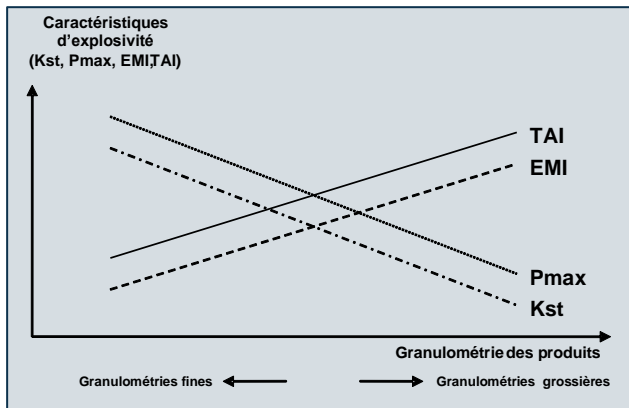


Figure 1 : Influence de la granulométrie d'un produit pulvérulent sur ses caractéristiques d'explosivité

Pour exploiter objectivement les valeurs caractéristiques d'explosivité d'un produit, il est nécessaire de connaître :

- les conditions d'expérimentation (moyen et méthode) qui ont permis leurs déterminations,
- les caractéristiques physiques de ce produit lors des expérimentations,
- la représentativité des caractéristiques physiques lors de l'expérimentation par rapport aux caractéristiques de ce produit dans les conditions d'exploitation industrielle.

La formation des personnes sur le matériel et les méthodes de détermination des grandeurs caractéristiques d'une explosion d'un produit pulvérulent est un point essentiel pour garantir des interprétations et exploitations objectives de ces grandeurs.

3. Présentation des paramètres d'inflammabilité et d'explosivité

3.1. Energie Minimale d'Inflammation (EMI)

3.1.1. Définition

Selon la norme NF EN 1127-1, il s'agit de la plus faible énergie électrique stockée dans une capacité, dans des conditions d'essais spécifiées, qui, lors de la décharge, est juste suffisante pour obtenir l'inflammation de l'atmosphère la plus facilement inflammable. Elle est donnée en milli-Joule (mJ).

3.1.2. Facteurs d'influence

L'aptitude à l'inflammation d'un produit pulvérulent dépend notamment, de sa nature, de sa répartition granulométrique, de son humidité, de la concentration et de l'homogénéité du nuage de particules en suspension.

3.1.3. Exploitation du paramètre

Ce paramètre permet de connaître la valeur de l'énergie à partir de laquelle un produit pulvérulent peut s'enflammer. La connaissance de ce paramètre permet alors de lutter contre les risques d'inflammation.

3.1.4. Matériel

La mesure de l'énergie minimale d'inflammation d'un nuage de particules en suspension a été effectuée dans un appareil de Hartmann modifié, commercialisé sous l'appellation « Mike 3 » par Kühner AG. Il s'agit d'un tube en pyrex d'un volume de 1.2 litres équipé d'un système d'allumage, par étincelle électrique, d'énergie variable de 1 à 1000 mJ, selon les échelons suivants : 1, 3, 10, 30, 100, 300 et 1000 mJ.

3.1.5. Méthode

Le protocole expérimental qui a été retenu est celui décrit dans la norme internationale CEI/IEC 1241-2-3 (1994). D'après cette norme internationale, l'énergie minimale d'inflammation est comprise entre la plus forte énergie à laquelle l'inflammation ne se produit pas lors d'au moins 20 essais successifs pour tenter d'enflammer le mélange particules en suspension/air et la plus faible énergie à laquelle l'inflammation se produit au cours de 20 essais successifs. Il est également testé l'influence de la turbulence sur l'inflammabilité du nuage de particules en suspension.

L'énergie minimale d'inflammation est déterminée de manière statistique à partir des valeurs maximales d'énergies n'ayant pas conduit à des inflammations et des énergies minimales expérimentales ayant amené une inflammation.

3.2. Températures Minimales d'Inflammation (TMI) en nuage

3.2.1. Définition

Selon la norme NF EN 1127, il s'agit, dans des conditions d'essais spécifiées, de la température la plus faible d'une surface chaude sur laquelle le mélange le plus inflammable de particules en suspension avec l'air est enflammé. Elle est donnée en degré Celsius (°C).

3.2.2. Facteurs d'influence

La TMI en nuage dépend notamment, de la nature du produit pulvérulent, de sa répartition granulométrique et de son humidité.

3.2.3. Exploitation du paramètre

Ce paramètre permet de définir les températures maximales admissibles de surfaces des corps chauffés ou de fonctionnement des procédés.

3.2.4. Matériel

Les expériences ont été menées avec le four Godbert-Greenwald. Ce four comprend un tube vertical en silice, chauffé électriquement. Les thermocouples utilisés ont été étalonnés sur la gamme [20°C - 1000°C], sur une base linéaire afin de garantir les mesures de températures au-dessus de 500°C à ± 1% et les mesures en dessous de 300°C à ± 3%.

Il existe deux types de four normalisé permettant de conduire à la TMI en nuage : le four vertical Godbert-

Greenwald (four GG) et le four horizontal BAM (Bundes Anstalt für Materialprüfung). Seul le premier a été utilisé dans nos études. Les valeurs de TMI en nuage obtenues avec l'un ou l'autre des fours ne sont pas directement comparables. Or, la bibliographie (notamment d'origine allemande) indique des données le plus souvent obtenues à partir du four BAM.

3.2.5. Méthode

Selon la norme internationale CEI/IEC 1241-2-1 de 1994, la détermination expérimentale de la température minimale d'inflammation est réalisée en augmentant la température du four par paliers successifs de 50°C jusqu'à obtenir l'inflammation, puis en réduisant la température du four par paliers de 20°C jusqu'à ne plus obtenir d'inflammation sur les dix derniers essais. La température du premier test est fixée à 500°C. L'apparition de particules rougeoyantes n'est pas considérée comme une inflammation. La température minimale d'inflammation ainsi obtenue est corrigée par une diminution de 20°C pour les températures du four supérieures à 300°C et par une diminution de 10°C pour les températures du four inférieures ou égales à 300°C. Cette diminution correspond à la marge de sécurité dans le cadre de l'exploitation au sein d'une atmosphère explosive.

3.3. Températures Minimales d'Inflammation (TMI) en couche

3.3.1. Définition

Selon la norme NF EN 1127, il s'agit, dans des conditions d'essais spécifiées, de la température la plus faible d'une surface chaude pour laquelle l'inflammation se produit dans une couche de produit pulvérulent. Il est à noter que pour un produit donné la TMI en couche est toujours inférieure à la TMI en nuage. Elle est donnée en degré Celsius (°C).

3.3.2. Facteurs d'influence

La TMI en couche dépend notamment, de la nature du produit, de sa répartition granulométrique et de son humidité.

3.3.3. Exploitation du paramètre

Ce paramètre permet de définir les températures maximales admissibles de surfaces des corps chauffés ou de fonctionnement des procédés.

3.3.4. Matériel

L'appareil d'essai comprend une plaque chauffée et un dispositif de régulation. Ce matériel doit satisfaire un certain nombre de conditions qui concernent l'uniformité et la constance de la température, et l'étalonnage du régulateur et des dispositifs de mesure. La température ambiante, mesurée par un thermomètre placé à moins d'un centimètre de la plaque chaude, doit être comprise entre 15 et 35°C.

3.3.5. Méthode

La mesure est réalisée selon la norme internationale CEI/IEC 1241-2-1 de 1994. Ainsi, l'inflammation d'une couche de produit d'épaisseur de 5,0 mm est considérée comme s'étant produite si un rougeoiement ou des flammes apparaissent dans le matériau, ou si une température de 450°C ou plus est mesurée, ou un accroissement de température de 250°C ou plus par rapport à la température de surface. Cette température est suffisamment élevée pour provoquer l'inflammation ou l'auto-échauffement, mais n'est pas supérieure de plus de 10°C à la température qui ne provoque ni inflammation ni auto-échauffement. Cette température est arrondie au multiple de 10°C inférieur.

3.4. Concentration Minimale Explosive (CME)

3.4.1. Définition

Concentration, la plus faible en combustible, capable de conduire à la propagation d'une flamme dans un nuage homogène de particules en suspension avec l'air. Elle est donnée en gramme par mètre cube (g/m³).

3.4.2. Facteurs d'influence

La CME dépend, notamment, de la granulométrie et de l'humidité du produit, de l'énergie d'inflammation, du volume et de la forme de l'enceinte.

3.4.3. Exploitation du paramètre

La connaissance de la CME permet de savoir approximativement si l'atmosphère peut comprendre ou ne comprend pas une concentration qui peut être considérée comme explosible ou explosive dès lors qu'un comburant et une énergie suffisante seront également présents. L'exploitation industrielle de ce paramètre est très délicate et relativement difficile étant donné qu'il n'a pas été identifié actuellement de moyen technique permettant d'effectuer une mesure fiable et précise de la concentration d'un nuage de particules en suspension dans :

- un circuit de production industrielle continu, fermé et avec un flux dense de produit (transporteur, élévateur...)
- un volume industriel fermé (cellule, silo...).

3.4.4. Matériel

Ce paramètre est caractérisé avec une sphère d'explosion de 20 litres.

3.4.5. Méthode

Ce paramètre est caractérisé en même temps qu'est effectuée la caractérisation de la vitesse maximale de montée en pression et pression maximale atteinte lors d'une l'explosion.

3.5. Vitesse maximale de montée en pression et pression maximale atteinte lors d'une explosion

3.5.1. Définition

Pression maximale, notée Pmax:

- Selon la norme NF EN 1127-1, il s'agit, dans des conditions d'essais spécifiées, de la pression maximale obtenue dans un récipient fermé lors de l'explosion d'une atmosphère explosive (Figure 2). L'unité est le bar.

Vitesse maximale de montée en pression, notée $(dP/dt)_{max}$:

- Selon la norme NF EN 1127-1, il s'agit, dans des conditions d'essais spécifiées, de la valeur maximale de la montée en pression par unité de temps obtenue dans un récipient fermé, lors des explosions de toutes les atmosphères explosives dans le domaine d'explosivité de la substance combustible. L'unité est le bar par seconde (bar/s).
- Dans une enceinte confinée, alors que la pression maximale d'explosion est pratiquement indépendante du volume ; la vitesse maximale de montée en pression varie en fonction du volume selon la relation dite « loi cubique » :

$$(dP/dt)_{max} = K_{St} V^{-1/3}$$

où K_{St} est une constante caractéristique de la suspension dans l'air des particules d'un produit pulvérulent. L'unité est bar.m/s. Cette relation a été établie expérimentalement sur des enceintes de volumes compris entre 0,020 m³ et 60 m³ dont la forme était définie par un rapport longueur ou hauteur sur diamètre inférieur à 5 et a été vérifiée pour une enceinte de 100 m³.

La littérature anglo-saxonne propose ainsi d'identifier quatre classes d'explosions de produits pulvérulents en fonction du K_{St} . La présentation la plus simple est la suivante :

Classes d'explosions	Valeurs de K_{St} (bar.m/s)
St 0	0
St 1	1 à 200
St 2	200 à 300
St 3	> 300

Tableau 1 : Classes d'explosion

3.5.2. Facteurs d'influence

Ces paramètres dépendent notamment, de la nature du produit, de sa répartition granulométrique et de son humidité, de la turbulence initiale du nuage de particules en suspension dans l'air, de l'énergie de la source d'amorçage, voire du récipient d'essai.

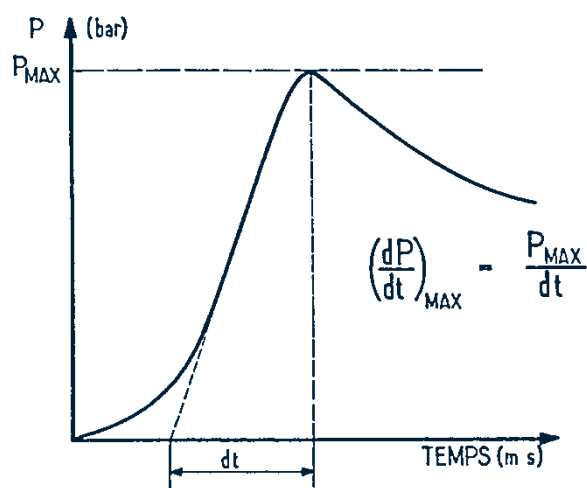


Figure 2 : Principe de la variation de la pression d'explosion en fonction du temps pour une concentration donnée du nuage de particules en suspension

3.5.3. Exploitation des paramètres

Elles caractérisent la violence de l'explosion et permettent de dimensionner les mesures de protection contre l'explosion (évent, ...).

3.5.4. Matériel

Ces paramètres sont caractérisés avec une sphère d'explosion de 20 litres. La source d'inflammation provoquant ou non l'explosion dans la sphère développe une énergie totale de 10 kJ. Il est noté que l'énergie de cette source d'inflammation nettement supérieure (et peut donc être majorante) à l'énergie mise en jeu par les sources d'inflammation classiquement rencontrées sur un site industriel.

3.5.5. Méthode

Pour un produit donné, la pression maximale et la vitesse maximale de montée sont déterminées en faisant varier la concentration du nuage de particules en suspension. La pression maximale et la vitesse maximale de montée en pression ne sont pas obtenues systématiquement pour une même concentration.

4. Conclusion

Les matériels et les méthodes de laboratoire présentés succinctement dans cette fiche sont ceux qui ont été utilisés pour mener à bien une étude de caractérisation de la sensibilité à l'inflammabilité et de la sévérité d'explosion de produits utilisés en alimentation animale.

5. Bibliographie

- i'Doc_E19, 2005, Guide de l'état de l'art de l'industrie de la Nutrition Animale relatif à la prévention et à la protection des risques d'incendie et d'explosion de poussières
- i'Doc_G10, 2007, SYMPOSIUM TECALIMAN 2007