

## Campagne d'étude des paramètres d'inflammabilité et d'explosivité de produits manipulés en alimentation animale

### 1. Contexte

Sur la base d'une étude bibliographique (issue du guide de l'état de l'art sur les silos), le Tableau 1 présente des valeurs de paramètres d'explosivités et d'inflammabilités de matières premières manipulées en nutrition animale.

La variabilité des valeurs des paramètres s'explique

par la variabilité des granulométries et des humidités des produits pulvérulents caractérisés.

L'absence de connaissance des matériels et des méthodes d'expérimentation ainsi que des granulométries et des humidités des matières premières limite considérablement l'exploitation objective de ces données.

Produit	Pmax (bar)	Kst (bar.m/s)	EMI (mJ)	Température minimale d'inflammation (°C)	
				En nuage	En couche (5 mm)
Blé	[5 ; 9] (b)	[20 ; 120] (b)	[10 ; 160] (a)	[350 ; 600] (a)	[300 ; 450] (a)
Farine de blé	[7 ; 9] (b)	[30 ; 200] (b)	[10 ; 300] (a)	[400 ; 500] (a)	330(a)
Orge	[5 ; 9] (a)	[10 ; 150] (a)	[10 ; 150] (a)	[400 ; 450] (a)	[300 ; 450] (a)
Maïs	[5 ; 9] (b)	[10 ; 130] (b)	[10 ; 300] (a)	[400 ; 450] (a)	[300 ; 450] (a)
Graines Tournesol	[6 ; 8] (b)	[20 ; 90] (b)		[400 ; 500] (a)	350(a)
Luzerne	7 (c)	90 (c)			
Pellets de betteraves	[5 ; 9] (b)	[20 ; 100] (b)	[10 <sup>3</sup> ; 10 <sup>6</sup> ] (a)	400(a)	270(a)

(a) "Combustion and Explosion characteristics of dust" Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit, BIA-Report, 12/97, HVBG, November 1997

(b) BIA et Norme NFPA 61

(c) Norme NFPA 61

**Tableau 1 : Valeurs de paramètres d'explosivité et d'inflammabilité de matières premières utilisées dans la nutrition animale**

### 2. Objectifs

L'objectif de l'étude était de caractériser de façon expérimentale la sensibilité à l'inflammation et la sévérité d'explosion de produits représentatifs du secteur de l'alimentation animale compte tenu de l'absence de données bibliographiques réellement exploitables (cf § 1).

Cette étude a été réalisée dans le courant de l'année 2007 en partenariat entre Tecaliman et le Laboratoire des Sciences du Génie Chimique (LSGC), Unité Propre de Recherche n°6811 du CNRS, situé dans les locaux de l'Ecole Nationale Supérieure des Industries Chimiques de Nancy.

TECALIMAN a réalisé le prélèvement, la préparation (division et tamisage), le conditionnement et les caractérisations physiques des échantillons des produits testés. Le LSGC a effectué des caractérisations physiques des échantillons et les expérimentations permettant les caractérisations d'inflammabilité et d'explosivité des produits. Le matériel et les méthodes d'expérimentation utilisés

sont ceux décrits au § 3 d'i'Tec\_E8.

### 3. Descriptions des produits testés

#### 3.1. Description générale

Un ensemble de 9 produits a été sélectionné par un comité d'industriels de la profession. Ces produits sont :

5 aliments composés **sous forme de farines**

3 prémix

un dépôt de particules sur filtre à manches de broyeur.

Le critère principal de choix a été pour :

- les aliments composés retenus, la plus grande diversité possible de matières premières composant les farines.
- les prémix, la répartition de la composition entre la part de matières minérales et la part en matières végétales.

Les valeurs obtenues par les matériels de laboratoire utilisés, pour déterminer expérimentalement les caractéristiques d'inflammabilité et d'explosivité, ne sont plus très fiables lorsque la granulométrie excède 800 µm. Aussi, les échantillons des produits testés ont été tamisés à l'aide d'un tamis de 760 µm. La caractérisation d'inflammabilité et explosivité a donc été réalisée sur la fraction fine des produits (fraction passant à travers le tamis de maille 760 µm). La granulométrie des échantillons testés place les produits dans un cadre majorant par rapport à la réalité industrielle.

Les caractéristiques physiques des 5 aliments composés et des 3 prémix testés sont présentées dans le Tableau 2 et Tableau 3.

### 3.2. Activité de l'eau des produits

L'activité de l'eau des produits prélevés se situe entre 0.47 et 0.66 (Tableau 2 et Tableau 3). L'activité de l'eau du dépôt de particules sur filtre est de 0.55.

Or, l'activité de l'eau de ces produits a été abaissée et ramenée entre 0.1 et 0.3 lors des différentes expérimentations afin que :

- les produits soient testés dans des conditions «similaires» entre eux
- l'activité de l'eau choisie pour les tests soit intermédiaire entre les normes et la réalité industrielle.

Cette activité de l'eau choisie pour les expérimentations place les produits dans des conditions majorantes par rapport à la réalité industrielle.

### 3.3. Taux de cendre des produits

Les taux de cendre des fines de décolmatage (9.1%) et des aliments composés sont relativement proches (entre 9 et 15%). Il n'en est pas de même pour les 3 prémix (Tableau 3) qui ont une teneur en matière minérale beaucoup plus importante que les 6 autres produits.

Type d'aliments composés	Porc Croissance	Vache laitière	Porcelet 1 <sup>er</sup> âge	Lapin	Poulet finition
Lieu de prélèvement	Sortie mélangeuse	Sortie mélassesur	Sortie mélangeuse	Sortie mélassesur	Sortie mélangeuse
Composition en MP solides	Pour 82% : Blé, Orge et tourteaux de soja	Pour 84% : Soja, Colza et Son	Pour 79% : Blé, Soja et Orge	Pour 78% : Tx de Tournesol, Luzerne, Son, Blé et pulpe de betterave	Pour 81% : Blé, Sorgho, Soja et Colza
Pourcentage de liquides	4.0%	5.5%	3.5%	1.7%	1.2%
Caractéristiques des produits prélevés en usine					
Granulométrie D <sub>50</sub> (Méthode Retch)	530 µm	570 µm	540 µm	540 µm	740 µm
Caractéristiques des produits après tamisage au tamis de maille de 760 µm					
Granulométrie - D <sub>50</sub> (Méthode Retch)	280 µm	300 µm	450 µm	290 µm	370 µm
Activité de l'eau (aw)	0.66	0.62	0.63	0.64	0.61
Taux de cendre	12.4 %	15.3%	12.2%	11.4%	12.2%

Tableau 2 : Caractéristiques des aliments composés testés

Type d'aliments composés	Prémix 1	Prémix 2	Prémix 3
Teneur en matière végétale	51 à 53%	2 à 4%	20 à 22%
Caractéristiques des produits prélevés en usine			
Granulométrie D <sub>50</sub> (Méthode Retch)	220 µm	280 µm	230 µm
Caractéristiques des produits après tamisage au tamis de maille de 760 µm			
Granulométrie - D <sub>50</sub> (Méthode Retch)	200 µm	260 µm	220 µm
Activité de l'eau (aw)	0.47	0.66	0.61
Taux de cendre	44 %	78%	63%

Tableau 3 : Caractéristiques des prémix testés

### 3.4. Granulométrie des produits

Les granulométries des produits testés dans leurs conditions expérimentales (après tamisage) sont présentées dans le Tableau 4. Dans ce tableau, le d50 exprime le fait que 50% des particules, de chaque échantillon caractérisé, ont un diamètre équivalent inférieur à la valeur indiquée (exemple, 240 µm pour l'aliment porc croissance) et 50 % des particules ont un diamètre supérieur. Le d10 exprime le fait que 10 % des particules ont un diamètre équivalent inférieur à la valeur indiquée (exemple, 66 µm pour l'aliment porc croissance). Le d10 caractérise la fraction la plus fine de chaque produit et donc celle qui pourrait avoir un effet promoteur de leur sensibilité à l'inflammation et à l'explosivité.

Ces granulométries ont été effectuées à l'aide d'un granulomètre laser Malvern. Ces granulométries ne peuvent pas être comparées avec celles présentées dans le Tableau 2 et le Tableau 3 qui sont réalisées avec un tamiseur Retsch

Produits testés	Granulométrie		
	d10 (µm)	d50 (µm)	d90 (µm)
Dépôt de particules sur filtre	12	50	155
Porc Croissance	66	240	610
Vache laitière	150	410	830
Porcelet 1 <sup>er</sup> âge	50	230	580
Lapin	66	320	805
Poulet finition	50	270	720
Prémix 1	105	260	525
Prémix 2	30	115	240
Prémix 3	40	200	505

Tableau 4 : Distributions granulométriques des produits testés

La granulométrie d'un produit pulvérulent pouvant jouer un rôle primordial lors des inflammations et des explosions, les distributions granulométriques des produits ont été comparées. Ces comparaisons mettent en évidence que :

- l'aliment Porc Croissance et l'aliment Porcelet 1<sup>er</sup> Age ont des distributions granulométriques très semblables et que les résultats des analyses sont donc directement comparables,
- les aliments Lapin et Poulet Finition ont également des distributions granulométriques comparables,
- ces 4 aliments composés peuvent être comparés malgré leurs distributions granulométriques relativement différentes, car leurs proportions de particules fines sont assez identiques.
- L'aliment Vache Laitière contient moins de particules fines, il comporte des particules ayant une distribution centrée sur 500 µm, il faut donc le comparer avec prudence avec les 4 autres aliments,

- les prémix 1 et 3 peuvent être directement comparés, tandis que le prémix 2 qui contient plus de particules fines doit être comparé avec prudence avec les 2 autres prémix
- le dépôt de particules sur filtre ne peut être comparé avec les autres produits contenus de la finesse de la granulométrie.

## 4. Résultats des expérimentations

### 4.1. Energie Minimale d'Inflammation (EMI)

Pour les 5 aliments composés et les 3 prémix, les expérimentations indiquent que leur EMI se situe au dessus de 1 Joule (cette valeur étant la limite supérieure de l'énergie testée en laboratoire).

Pour le dépôt de particules sur filtre à manches de broyeur, l'EMI retenue est de 180 mJ (Tableau 7). Les expérimentations ont été réalisées en faisant varier :

- la turbulence du nuage de particules en suspension selon 3 conditions
- l'activité de l'eau de l'échantillon.

Activités de l'eau	Condition de turbulence	EMI (mJ)
0.15	1	610
0.13	2	510
0.28	2	<b>180</b>
0.28	3	740
0.13	3	500

Tableau 5 : Détermination de l'énergie minimale d'inflammation du dépôt de particules sur filtre à manches de broyeur

Toutefois, le tableau met en avant l'influence des conditions expérimentales sur l'expression de l'EMI. L'EMI retenue étant significativement inférieure aux résultats obtenus dans les autres conditions expérimentales.

### 4.2. Températures minimales d'inflammation (TMI) en nuage

La détermination de la température minimale d'inflammation en nuage a été réalisée pour une activité de l'eau des produits variant entre 0.11 et 0.21. L'analyse des résultats (présentée dans le Tableau 7) tend à indiquer que :

- la TMI en nuage des aliments et du dépôt de particules sur filtre est relativement proche
- le taux de cendre des produits a une influence sur l'expression de la température minimale d'inflammation des produits testés. Cette influence est très nette pour les 3 prémix.

### 4.3. Températures minimales d'inflammation (TMI) en couche

La TMI en couche du dépôt de particules sur filtre de manche de broyeur a été déterminée à 180°C. Ce test n'a été réalisé que sur le dépôt de particules sur filtre, car les autres produits n'avaient pas une sensibilité suffisante au test de la TMI en nuage

### 4.4. Concentration Minimale d'explosivité (CME), Vitesse maximale de montée en pression (dP/dt)<sub>max</sub> et pression maximale (P<sub>max</sub>)

Il convient de rappeler que ces 3 grandeurs sont caractérisées lors d'une même phase expérimentale. Elles ont été expérimentalement testées pour tous les produits. Les valeurs caractéristiques retenues sont présentées dans le Tableau 7 et ont été déterminées pour une activité de l'eau des produits oscillant entre 0.11 et 0.25.

Les pressions maximales et les vitesses maximales de montée en pression (dP/dt)<sub>max</sub> retenues pour chacun des produits correspondent à une concentration air/particules donnée (Tableau 6). Or, les résultats des expériences tendent à montrer que la pression d'explosion est « relativement stable » pour une plage de concentration (Tableau 6).

Ainsi, la Figure 1 présente l'évolution de la pression d'explosion (P<sub>max</sub>) et de la vitesse de montée en pression (dP/dt)<sub>max</sub> obtenues lors des tests sur le dépôt de particules sur filtre de broyeur. La pression maximale et la vitesse de montée en pression maximale (dP/dt)<sub>max</sub> obtenues peuvent être visualisées au niveau des points positionnés dans les cercles. Sur cette figure, la pression maximale obtenue peut être identifiée pour une concentration de 1250 g/m<sup>3</sup>. Or, l'étude de ce graphique montre clairement que cette pression d'explosion est quasi

identique pour les concentrations allant de 750 à 2000 g/m<sup>3</sup>.

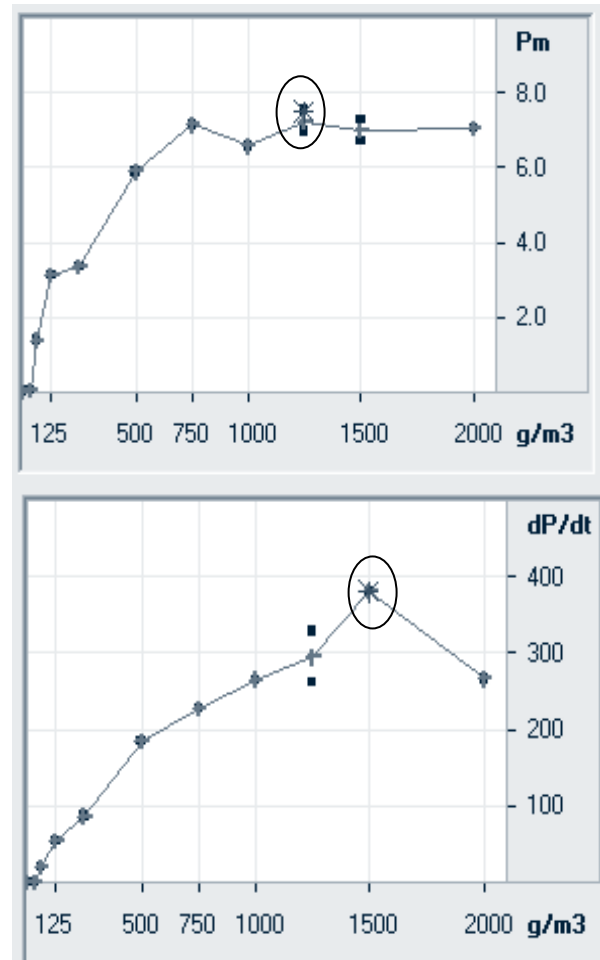


Figure 1: Evolution de la pression d'explosion (P<sub>max</sub> à gauche) et de la vitesse de montée en pression (dP/dt)<sub>max</sub> (à droite) en fonction de la concentration pour le dépôt de particules sur filtre

	Dépôt de particules sur filtre	Porc croissance	Vache laitière	Porcelet 1 <sup>er</sup> âge	Lapin	Poulet finition	Prémix 1
P <sub>max</sub>	1250 ≈ 750 à 2000	750	750 ≈ 500 à 1250	1000 ≈ 500 à 1250	750 ≈ 500 à 1000	750 ≈ 500 à 1500	1250 ≈ 1000 à 1500
(dP/dt) <sub>max</sub>	1500	750	750	1250	1000	1000	1250

Tableau 6 : Concentrations (g/m<sup>3</sup>) pour lesquelles sont définies la pression maximale et la vitesse maximale de montée en pression lors de l'explosion

Il est important de souligner que le prémix 2 et le prémix 3 (prémix contenant la part la plus élevée de matières minérales) n'ont pas explosé sur une gamme de concentrations allant de 60 à 1500 g/m<sup>3</sup>. La concentration minimale d'inflammation, la pression maximale et la vitesse de montée en pression sont déterminées expérimentalement (dans la sphère d'explosion) à partir d'une source d'inflammation dont l'énergie développée est nettement majorante par rapport à l'énergie développée par une décharge électrostatique en milieu industriel.

## 5. Synthèse de résultats de l'étude

La comparaison des résultats d'inflammabilité et d'explosivité de différents produits n'est jamais aisée, mais il est tout de même possible de tirer quelques tendances. Il existe bien un lien entre la composition en matière minérale des produits et les résultats d'inflammabilité et d'explosivité, ainsi les produits ayant un très fort taux de cendre (les prémix) sont moins sensibles à l'inflammation (TMI, EMI et CME supérieures à celles des 5 aliments

composés) et la violence de l'explosion est moindre (Pmax et Kst plus faible voire inexistant).

Malgré les différences de composition en matières premières et les légères différences granulométriques, les valeurs obtenues pour les 5 aliments composés sont assez comparables :

- les TMI sont proches de 580°C à 610°C,
- les EMI sont supérieures à 1 Joule,
- la CME est proche de 30 g/m<sup>3</sup>,
- la surpression maximale est comprise entre 6,2 et 7 bars
- les vitesses de montée en pression proches de 160 bars/s qui nous permettent de calculer des Kst autour de 40.

Les fines de décolmatage représentent le produit le plus sensible qui possède le plus fort potentiel explosif parmi les échantillons testés (la plus forte surpression et le Kst le plus élevé).

Outre les prémix 2 et 3 qui n'ont pas explosé dans les conditions expérimentales utilisées lors de ces tests, le prémix 1 est l'échantillon le moins sensible et le moins dangereux parmi ceux qui furent testés et qui explosèrent en sphère de 20 litres (très faible Kst). Le prémix 1 peut être considéré comme le moins sensible avec une concentration minimale explosible de 125 g/m<sup>3</sup>.

Les valeurs de Kst restent en général dans l'intervalle [0 ;105] ce qui correspond aux produits pulvérulents de catégorie St1.

## 6. Conclusions

Tous les produits ont été testés dans des conditions majorantes par rapport à la réalité industrielle :

- humidité plus faible pour tous les produits,

- granulométrie plus faible, notamment pour les 5 aliments composés,
- énergie d'inflammation développée lors des tests de CME, Pmax et (dP/dt)<sub>max</sub> en laboratoire plus élevée que celles potentiellement présentes en milieu industriel.

Concernant ce dernier point, certains auteurs ont montré que la pression maximale et la vitesse de montée en pression variaient en fonction de la source d'inflammation pour les produits difficilement inflammables (ce qui est plutôt le cas sur les produits testés) alors que cela ne change presque rien pour les produits facilement inflammables.

L'analyse des résultats souligne l'importance de bien connaître les matériels et les méthodes d'expérimentation ayant conduit à définir les valeurs caractéristiques retenues.

Dans le cas où l'exploitant ne dispose pas de valeur pratique et représentative pour caractériser l'explosivité et l'inflammabilité des produits utilisés sur son site, il conviendrait dans une logique de précaution de se baser sur les valeurs issues de la bibliographie et caractérisant une réactivité maximale du produit.

## 7. 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

i'Tec\_E8, Décembre 2007, Matériel et méthode de Caractérisation de l'inflammabilité et de l'explosivité de produits manipulés en alimentation animale

Produits testés	Caractéristiques physiques		Caractéristiques d'inflammabilités				Caractéristiques d'explosivités		
	Taux de cendre (%)	Granulométrie d10 (µm)	TMI en nuage (°C)	TMI en couche (°C)	EMI (mJ)	CME (g/m <sup>3</sup> )	P <sub>max</sub> (bars)	(dP/dt) <sub>max</sub> (bar/s)	K <sub>max</sub> (bar.m/s)
Dépôt de particules sur filtre	9,4	12	180	550	180	> 30 < 60	7,5	381	103
Porc Croissance	12,4	66	-	600	> 1000	≈ 30	7,0	163	44
Vache laitière	15,3	150	-	610	> 1000	≈ 30	6,6	159	43
Porcelet 1 <sup>er</sup> âge	12,2	50	-	600	> 1000	≈ 30	6,2	122	33
Lapin	11,4	66	-	580	> 1000	≈ 30	6,8	162	44
Poulet finition	12,2	50	-	590	> 1000	≈ 60	6,6	144	39
Prémix 1	44,4	105	-	620	> 1000	≈ 125	5,2	52	14
Prémix 2	78,1	30	-	> 900	> 1000	-	0	0	0
Prémix 3	63,2	40	-	710	> 1000	-	0	0	0

Tableau 7 : Synthèse des valeurs retenues pour chaque grandeur d'inflammabilité et d'explosivité