



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE,
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Compléments du guide état de l'art.

ANNEXE A

Paramètres d'Explosibilité des poussières agro-alimentaires.

Version 3

TABLE DES MATIERES

1. OBJECTIFS ET CONTEXTE.....	4
2. DETERMINATION DE VALEURS DE REFERENCE	4
2.1 Recherche bibliographique	4
2.2 Démarche « expérimentale ».....	7

1. OBJECTIFS ET CONTEXTE.

Le présent document a été réalisé en complément du guide état de l'art sur les silos rédigé en vue d'appliquer l'arrêté du 29 mars 2004 modifié.

L'objectif du document est de préciser les valeurs de paramètres d'explosibilité utilisables pour les produits alimentaires et doit permettre à l'Administration d'avoir un regard critique sur les valeurs de paramètres d'explosibilité disponibles dans les études fournies à sa lecture.

Il a donc été mené une étude bibliographique se basant sur les textes de référence en vigueur.

L'INERIS a restreint son étude à une dizaine de produits représentatifs des stockages agro-alimentaires.

2. DETERMINATION DE VALEURS DE REFERENCE

La protection et la prévention des risques d'explosion de poussières des installations nécessitent entre autres de se déterminer par rapport aux valeurs caractéristiques de sécurité de la poussière considérée. Pour définir ces valeurs de référence pour des poussières couramment mises en œuvre, une double démarche est alors possible :

- définition de valeurs de référence de la littérature ;
- démarche « expérimentale ».

2.1 RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Une première démarche consiste à se baser sur des valeurs de référence de la littérature.

L'étude bibliographique a été menée en comparant les données¹ :

¹ « Mélanges explosifs 1. Gaz et vapeurs », Etude Documentaire 911, 2004, 96 pages. Téléchargeable à cette adresse <http://www.inrs.fr> et « Mélanges explosifs 2. Poussières », Etude Documentaire 944, 2006, 62 pages. Téléchargeable à cette adresse <http://www.inrs.fr>

NFPA 61: Standard for the Prevention of Fires and Dust Explosions in Agricultural and Food Processing Facilities, édition dite 2008 du 1er octobre 2007

Site internet du BIA (base de données GESTIS-DUST-EX) consultable à l'adresse <http://www.hvbg.de/e/bia/gestis/expl/index.html>

- Du guide « mélanges explosifs » de l'INRS,
- du rapport « Combustion and Explosion characteristics of Dust » du Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit - BIA ,
- de la norme NFPA 61.

Le premier rapport et la norme mentionnée donnent des valeurs de paramètres d'explosibilité uniques pour les produits.

Il est aussi nécessaire de citer les données issues du guide de l'état de l'art de l'industrie meunière (janvier 2008-ANMF), du guide TECALIMAN ainsi que les données USIPA figurant en annexe 2.

L'ouvrage le plus complet est le BIA, qui distingue les produits en fonction de leur granulométrie et leur taux d'humidité. En fonction de ces données les produits ont des paramètres d'explosibilité qui varient fortement.

Les produits retenus sont le blé, la farine de blé, le malt, l'orge, le maïs, le colza, les graines de tournesol, la luzerne, le sucre blanc, le sucre roux et qui couvrent une bonne partie de l'industrie agro-alimentaire. A titre de comparaison, le bois a aussi été retenu.

Les paramètres d'explosibilité retenus sont la pression maximum d'explosion (**P_{max}²**) et le coefficient maximal d'explosibilité (**K_{st}³**) qui sont les deux paramètres qui interviennent dans les calculs de dimensionnement d'événements.

Pour information, sont aussi indiqués les paramètres d'inflammabilité et d'explosibilité qui sont en général présentés dans les études :

- L'énergie minimale d'inflammation (EMI).
- Les Températures d'auto-inflammation (TAI en couche, TAI en nuage).

Ces données ont été rassemblées dans les deux tableaux suivants sous forme d'intervalles. Il est notable que les intervalles sont larges ce qui est expliqué par une forte dépendance à la granulométrie.

Il est recommandé pour un produit où aucune expérience n'a été réalisée d'utiliser par précaution les valeurs supérieures des intervalles. Les valeurs uniques données par la NFPA 61 et l'INRS sont présentées en ANNEXE.

Produit	K _{st} (bar.m.s ⁻¹)	P _{max} (bar)	Références.
Blé	[20 ; 120]	[5 ; 9]	BIA/ NFPA 61
Farine de blé	[30 ; 200]	[7 ; 9]	BIA /NFPA 61

² Valeur maximale de la pression obtenue dans des conditions d'essais spécifiées lors d'une explosion de poussières

³ Constante des explosions de poussières liée à la valeur maximale de la montée en pression par unité de temps obtenue dans des conditions d'essais spécifiées

Amidon	[25 ; 160]	[8 ; 10]	BIA /NFPA 61
Malt	[70 ; 300]	[7 ; 9]	BIA /NFPA 61
Orge	[10 ; 150]	[5 ; 9]	BIA
Maïs	[10 ; 130]	[5 ; 9]	BIA/NFPA 61
Colza			
Graines Tournesol	[20 ; 90]	[6 ; 8]	BIA/NFPA 61
Luzerne	90	7	NFPA 61
Sucre blanc	[10 ; 350]	[4 ; 9]	BIA /NFPA 61
Sucre roux			
Sucre de canne			
Pellets de betteraves	[20 ; 100]	[5 ; 9]	BIA/NFPA 61
Lin	20	6	BIA/NFPA 61
Chanvre			
Bois	[30 ; 150]	[6 ; 10]	BIA

Valeurs des Kst et Pmax par produit.

Il est à noter que les valeurs de Kst restent en général dans l'intervalle [0 ; 200] qui correspond aux poussières de catégorie St1.

Il est à noter que la NFPA 61 ne donne pas de valeur pour l'EMI, la TAI en couches et la TAI en nuage.

Produit	EMI (mJ)	TAI en couche (de 5mm) (°C)	TAI en nuage (°C)	Références.
Blé	[10 ; 160]	[300 ; 450]	[350 ; 600]	BIA
Farine de blé	[10 ; 300]	[40 ; 470]	[400 ; 500]	BIA
Amidon	[10 ; 100]	[400 ; 500]	[450 ; 500]	BIA
Malt	[10 ; 100]	[250 ; 300]	[300 ; 450]	BIA
Orge	[10 ; 150]	[300 ; 450]	[400 ; 450]	BIA
Maïs	[10 ; 300]	[300 ; 450]	[400 ; 450]	BIA
Colza				

Graines Tournesol		350	[400 ; 500]	BIA
Luzerne				
Sucre blanc	[5 ; 10 ⁶]	[400 ; 500]	[300 ; 500]	BIA
Sucre roux				
Sucre de canne				
Pellets de betteraves	[10 ³ ; 10 ⁶]	270	400	BIA
Lin		230	440	BIA
Chanvre				
Bois	[10 ; 100]	[250 ; 500]	[450 ; 550]	BIA

Valeurs des EMI, TAI en couche et TAI en nuage par produit.

On remarquera que les TAI en nuage sont généralement supérieures aux TAI en couches, et sont contenues dans l'intervalle [300 ; 500].

Les EMI sont inscrites dans un intervalle très large allant de la dizaine de mJ au kJ. Cependant les valeurs usuelles sont de l'ordre de quelques dizaines ou de la centaine de mJ.

Concernant les caractéristiques de produits spécifiques, on pourra se reporter aux guides professionnels publiés dans la mesure où ceux-ci se réfèrent à des études bibliographiques ou des essais existants.

2.2 DEMARCHE « EXPERIMENTALE »

La démarche expérimentale de détermination des caractéristiques d'explosivité des poussières est envisageable ; toutefois, la question de la représentativité de l'échantillon prélevé est essentielle, cet échantillon doit présenter des caractéristiques majorantes de l'ensemble des produits susceptibles d'être stockés sur le site.

Ainsi, cette seconde démarche est expérimentale, il s'agit par exemple d'un produit ou d'un mélange de produit inconnu. Il est alors nécessaire de tester si ce produit est inflammable, et s'il l'est, de faire des essais en sphère normalisée de 20 litres sur un échantillon représentatif.

Un échantillon représentatif est donc un échantillon dont la granulométrie est la plus fine dans le procédé considéré, il peut par exemple être prélevé dans un dépoussiéreur à manches. Une autre possibilité consiste à broyer l'échantillon de manière suffisamment fine (la normalisation ISO encadrant ce type d'expérimentation demande de tamiser l'échantillon à l'aide d'un tamis de 63 µm).

ANNEXE 1 :

Liste récapitulative des valeurs de sécurité données pour les poussières agro-alimentaires issues de la littérature

La liste récapitulative des valeurs Kst et Pmax donnée par NFPA 61 (version 2002) est reprise dans le tableau ci-joint.

Produit	Kst (bar.m ⁻¹ .s ⁻¹)	Pmax (bar)
Blé	112	9.3
Farine de blé	139	9
Amidon	130	10
Malt	170	7.5
Maïs	47	6.2
Graines Tournesol	92	7.8
Luzerne	94	6.7
Sucre blanc	154	8.4
Pellets de betteraves	30	6
Lin	17	6

La liste récapitulative des valeurs EMI et TAI donnée par INRS⁴ est reprise dans le tableau ci-joint.

Produit	EMI en nuage (mJ)	TAI en nuage (°C)
Blé	60	500
Farine de blé	60	440
Amidon	25	400
Malt	35	400
Sucre blanc	30	370
Bois	40	470

⁴ Le guide INRS de 2006 donne de nombreuses données complémentaires et ne se limite pas à l'EMI et à la TMI en nuage, on y trouve également des valeurs de TMI en couche, des CME, des Pmax et de vitesses de montée en pression (dP/dt).

ANNEXE 2 :

Données issues d'études menées par l'USIPA :

REFERENCE PRODUIT	CARACTERISTIQUES		PRODUITS EN NUAGES							PRODUITS EN DEPOTS					
	GRANULOMETRIE DIAMETRE MEDIAN en µm	TAUX D'HUMIDITE % SUR BRUT	AIR	O ₂	TEMPERATURE D'INFLAMMATION EN NUAGES EN °C four type GODBERT-GREENWALD	CONCENTRATION MINIMALE EXPLOSIVE EN G/M ³	TENEUR LIMITE EN O ₂ POUR EMPECHER L'EXPLOSION	VIOLENCE D'EXPLOSION chambre de 20 L			RESISTIVITE VOLUMIQUE EN OHMS.CM	ATD-ATG		ESSAIS PARTICULIERS	
			ENERGIE MINIMALE D'INFLAMMATION EN MJ sur appareil Hartmann modifié	ENERGIE MINIMALE D'INFLAMMATION EN MJ				PRESSION MAXI EN BARS	VITESSE MAX DE MONTEE EN PRESSION (VMP) BAR.S ⁻¹	KST EN BAR.S m S ⁻¹		CLASSE VDI 3673 ST1 de 0 à 200 ST2 de 200 à 300 ST3 > à 300	T° AUTOCHAUFFEMENT		T° AUTOINFLAMMATION
AMIDON DE BLE	21,8	11,06	40					9,1	465	126	ST1	2,1x10 ¹²		270°	
AMIDON DE BLE	27,7	8,14						8,9		158	ST1				
AMIDON DE BLE	21,9	12,17	45		460°			6,9	445	120	ST1				
AMIDON DE BLE					420 °			8,2	415	112	ST1				
AMIDON DE BLE séché à 105°		4,11	22												
AMIDON DE MAÏS		4,21	19									7,5x10 ¹³		271°	étude
AMIDON DE MAÏS	<100µm	7,4						8,1	507	138	ST1				
AMIDON DE MAÏS	>38µm	11,5	300<EMI<1000		> 450°			8,4		130				> 450°	
AMIDON DE MAÏS	18	12,38	225		480°			8,5	460	124	ST1				
amidon modifié	35,1	12,9	225		440°			8	375	101	ST1			245°	
amidon modifié	63,2	9,94	>1200	60											étude rayon critique
amidon modifié	14,7	12,7	165					9,3	555	150	ST1				
amidon modifié	16,3	11,29	360<EMI<540		440°			6,9	400	103	ST1			2 54°	
amidon modifié	72,8	11,39	1200<EMI		440°			7,5	305	82	ST1			271°	
amidon modifié	266	8,15	1200<EMI		520°			7,6	315	85	ST1			262°	
amidon modifié	54	12,72	540<EMI<810		460°			8,4	480	130	ST1			277 °	
amidon modifié	89%<63µm	11,5	>1200		380°			9,1	525	142	ST1			312°	
amidon modifié	29µm	10,2	EMI>1200		480°			7,7	255	29	ST1			255°	
amidon modifié cationique	27,9	11,03			420°			7,8	390	105	ST1			240°	
amidon modifié cationique	49,5	16,58	>1200		460°			6,7	135	36	ST1				
amidon modifié cationique	47,3	15,89	>1200		440°			6,3	170	46	ST1				
amidon modifié cationique	68,7	11,99	>1200		420°			6,9	410	111	ST1				
amidon modifié cationique	35,1	12,61	>1200		440°			6,9	325	88	ST1				
dextrine	16,4	6,7	23												étude rayon critique
dextrine	68,1	6,24	135		420°			7,5	365	99	ST1	2,1x10 ¹²	temps 1/2 décharge 35mn		
dextrine	41,4	0,53	à 25° 58<EMI<77 à 90° 58<EMI<77		420°			7,3	265	72	ST1			253°	
dextrine	17,7	3,02	16<EMI<21		400°			7,8	655	177	ST1			252°	
dextrine	20,2	0,7	16<EMI<21		400°			8,1	720	195	ST1			260°	
dextrine	40,2	2,84	45<EMI<58		400°			7,5	375	101	ST1			248°	
DEXTROSE monohydrate	45,2	8,27	>1200	40											étude rayon critique
DEXTROSE SF ANHYDRE	70,4	0,08	45		360°			7,8	490	133	ST1				
DEXTROSE SF NORMALE	69	8,48	360		380°			5,5	235	63	ST1			330°	
FARINE DE BLE	71,8	14,86	>1200		400°			6,8	225	61	ST1				
FARINE DE BLE						390		7,1	240	65	ST1				
FECULE DE POMME DE TERRE	39,42	25,92	1200<EMI		400°			6,9	165	44	ST1			291°	
FECULE DE POMME DE TERRE			650		790°			9,1		98				> 450°	
FECULE DESHYDRATE	38,9	4,18	48												étude rayon critique
Fécule séchée 12%	44	9	>1200		460°			7,8	245	66	ST1			315°	
glucose déshydraté	60µm (23% < 40 µm)		360<EMI<540		420 °			8,1		100					
glucose déshydraté	100µm (14% < 40 µm)		> 1200		420 °			6,8		100					
GLUTEN DE BLE	240	3,36							à 20°C 7,7	90	ST1			200°	étude
GLUTEN DE BLE	240	3,36							à 90°C 7,6	102	ST1				
GLUTEN DE BLE	55,7	6,6	25° 158<EMI<225		4 80°			7,2	285	77	ST1				
GLUTEN DE BLE					480 °			5,2	221	60	ST1				
GLUTEN DE BLE		6,66	36									7,9x10 ¹²			

concentration min d'initiation (g/m³)

50