

Notes techniques

INCENDIE, EXPLOSION: ATTENTION AU PHÉNOMÈNE D'AUTO-ÉCHAUFFEMENT DES SOLIDES DIVISÉS

L'utilisation de poudres, poussières ou granulés de produits combustibles nécessite d'évaluer le risque d'incendie et d'explosion. En effet, certaines conditions de stockage ou de dépôt peuvent mener à un auto-échauffement du produit, voire provoquer un incendie ou une explosion si une atmosphère explosive (ATEX) est présente. Cet article décrit les données physico-chimiques et les méthodes permettant de caractériser cette sensibilité à l'auto-échauffement en fonction des différentes situations rencontrées, afin de prévenir l'apparition de ce phénomène. La connaissance de cette sensibilité présente un intérêt particulier dans le cadre de l'évaluation des risques d'incendies ou d'explosions sur les lieux de travail.

AGNÈS JANÈS
Cramif,
Centre de
mesures
physiques

**ALEXIS
VIGNES**
Ineris,
direction
des Risques
accidentels

Les produits tels que le charbon, le bois, les produits agroalimentaires ou encore ceux destinés à l'alimentation des animaux sont souvent fabriqués ou mis en œuvre sous forme de solides divisés à l'état de poudre, de granulés, de copeaux ou de grains et ceci à température ambiante ou chauffés, comme dans le cas du séchage ou de l'atomisation. Ces conditions favorisent l'auto-échauffement des produits, susceptible d'être à l'origine d'incendies ou d'explosions (Cf. Encadré 1).

Le risque d'auto-échauffement associé à la mise en œuvre, dans les équipements industriels, de produits combustibles sous forme divisée, doit être évalué en prenant en compte spécifiquement les différentes situations rencontrées dans les procédés de production et de stockage. Trois types de situations peuvent être identifiés:

1. Solides divisés combustibles déposés en couche, sur des équipements dont la température de surface peut être élevée: c'est le cas, par exemple, des dépôts de poussières sur des moteurs électriques, des presses ou d'autres équipements chauds;
2. Solides divisés combustibles stockés, à température ambiante, dans des contenants de grandes dimensions comme des silos, des trémies ou des dépoussiéreurs;
3. Solides divisés combustibles accumulés sous forme de couche ou de dépôt dans une ambiance thermique chaude, par exemple dans un sécheur ou

encore à proximité des buses d'injection d'une tour d'atomisation.

Dans les deux premières situations, l'évaluation des risques d'auto-échauffement peut s'appuyer sur les valeurs de caractéristiques spécifiques, déterminées expérimentalement suivant des protocoles d'essai normalisés détaillés ci-après. Pour la dernière situation, un protocole expérimental non normalisé a été développé par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris). Il s'appuie sur des retours d'expériences et d'études dont les résultats sont synthétisés dans cet article.

Cas n° 1: Produits déposés en couche sur des équipements dont la température de surface est élevée

Dans ce cas, on doit évaluer le risque d'inflammation par la mesure de la température minimale d'inflammation en couche (TMI en couche). Il s'agit de la plus faible température d'une surface chaude à laquelle se produit l'inflammation d'une couche de poussières d'épaisseur spécifiée (le plus souvent: 5 mm) déposée sur cette surface (Cf. Encadré 2).

Elle est mesurée selon le protocole expérimental indiqué dans la norme NF EN 50281-2-1, méthode A [1]. Le produit à tester est déposé à l'intérieur d'un anneau d'épaisseur définie (souvent: 5 mm) sur une plaque chauffée électriquement à une température fixée, comme l'illustre la figure 1. L'inflammation est considérée comme

RÉSUMÉ

Le stockage de grandes dimensions à température ambiante, l'accumulation sous forme de couches dans un équipement dont l'ambiance thermique est élevée, ou le dépôt sur une surface chaude dans un environnement à température ambiante sont des situations industrielles susceptibles de conduire à l'auto-échauffement

des solides divisés combustibles. Pour prévenir ce phénomène, il est impératif de connaître la sensibilité à l'inflammation du produit mis en œuvre. Cette étude permet d'identifier les paramètres physico-chimiques nécessaires à chaque situation et de comparer les protocoles expérimentaux permettant d'établir la température minimale

d'inflammation en couche ou la température d'auto-échauffement d'un stockage. Les conclusions permettent de mettre en lumière les paramètres appropriés pour la prévention de l'auto-échauffement d'un solide divisé, pouvant conduire à un incendie ou une explosion en situation industrielle.

Fire, explosion: beware of self-heating of divided solids

Industrial situations, such as storage of large volumes at room temperature, accumulation of layers in equipment which attains a high temperature, or deposition on a hot surface in a room-temperature environment, can all lead to self-heating of inflammable divided

solids. To prevent this phenomenon, it is essential to know how sensitive the products implemented are to ignition. This study identifies the physico-chemical parameters involved in each situation and compares experimental protocols to establish the minimum temperature for ignition

of a layer or the temperature at which self-heating is observed in bulk material. The conclusions shed light on the parameters to be monitored to prevent self-heating of a divided solid, which could result in fire or explosion in an industrial setting.

s'étant produite si, au cours de l'essai, un rougeolement ou une flamme est observé au niveau du produit. L'inflammation est aussi validée si l'on mesure une température supérieure ou égale à 450°C ou un accroissement de température supérieur ou égal à 250 °C¹ par rapport à la température de la surface chaude.

Cas n° 2: Produits stockés dans des contenants de grandes dimensions

Dans ce cas, l'évaluation du risque d'auto-échauffement s'appuie sur la mesure des températures critiques d'auto-échauffement en étuves isothermes. Ces mesures permettent d'établir la relation entre la température critique et la dimension du stockage, pour une forme de stockage donnée. La température critique d'auto-échauffement est la température maximale à laquelle il ne se produit pas d'inflammation pour un volume donné.

Les températures critiques d'auto-échauffement de volumes de quelques cm³ à quelques litres d'un solide divisé combustible, sont mesurées par des essais successifs dans des étuves isothermes, suivant la méthode définie dans la norme NF EN 15188 [3]. Les valeurs mesurées sont ensuite introduites comme données d'entrée dans un modèle théorique, qui permet de corrélérer la dimension critique de stockage d'un produit (au-delà de laquelle l'auto-échauffement peut se produire) à sa température de stockage.

De la relation obtenue peuvent être déduites par extrapolation et pour des stockages de différentes formes:

ENCADRÉ 1

LE PHÉNOMÈNE D'AUTO-ÉCHAUFFEMENT DES SOLIDES DIVISÉS

Lorsqu'un solide divisé combustible est stocké en vrac ou présent à l'état de dépôt sur une surface, il peut s'auto-échauffer. Cet auto-échauffement est le phénomène par lequel il subit une oxydation qui, d'abord lente, s'accélère progressivement en l'échauffant. Une masse ou un dépôt de solide divisé combustible est un milieu à l'intérieur duquel l'air pénètre et où le contact, nécessaire à la réaction d'oxydation, entre les molécules d'oxygène et les solides divisés, est d'autant meilleur que leur surface spécifique est grande (plus un solide est divisé, plus sa surface spécifique est importante). De plus, un tel milieu a une faible conductivité thermique – ce qui a pour conséquence que l'énergie produite par l'oxydation, en s'évacuant difficilement, entraîne un échauffement progressif du dépôt et une accélération du phénomène d'oxydation. De combustion lente et sans flamme au départ, le phénomène peut s'emballer et évoluer vers une combustion vive, s'accompagnant d'une flamme ou, *a minima*, d'une incandescence. Cette combustion peut alors constituer l'origine d'un incendie ou la source d'inflammation d'une atmosphère explosive (ATEX) poussiéreuse, si celle-ci se forme à proximité directe du dépôt. De manière générale, pour les solides divisés, il est plus facile d'enflammer une couche de produit qu'un nuage du même produit (la température minimale d'inflammation en couche est plus faible que la température minimale d'inflammation en nuage). Par ailleurs, selon l'oxydabilité de la substance et le volume considéré, le phénomène d'auto-échauffement peut se produire à température ambiante ou seulement à partir d'une température plus élevée.



ENCADRÉ 2

UTILISATION DES VALEURS DE TEMPÉRATURE MINIMALE D'INFLAMMATION POUR LA SÉLECTION DU MATÉRIEL UTILISÉ EN ATMOSPHÈRE EXPLOSIBLE (ATEX)

En ce qui concerne le matériel électrique, la norme NF EN 60079-14 [2] définit en particulier des exigences concernant la limitation de la température de surface pour son utilisation en atmosphère explosible (ATEX). La température de surface du matériel installé dans les

« zones ATEX poussières » notées 20, 21 et 22* doit être inférieure aux deux tiers de la température d'inflammation en nuage des poussières et inférieure à la température d'inflammation des poussières en couche de 5 mm, diminuée de 75 °C. Ces critères ne sont valables

que pour des situations à température ambiante. L'utilisation de la température minimale d'inflammation en couche pour des ambiances chaudes est inadaptée.

* Voir la brochure INRS ED 945 pour la définition des zones ATEX et l'adéquation du matériel. Accessible sur : www.inrs.fr



↑FIGURE 1 Vue du dispositif expérimental de mesure de la température minimale d'inflammation en couche de 5 mm, avec (à gauche) et sans produit (à droite).



FIGURE 2 → Vue de l'intérieur d'une étuve, contenant le support de maintien du thermocouple et un cube rempli de produit à tester.

- la dimension critique de stockage pour une température donnée;
- la température critique de stockage pour une dimension donnée.

À l'Ineris, les essais d'auto-échauffement sont effectués dans des étuves isothermes ventilées de température maximale 330°C et de volume égal à 100 litres, munies d'une claie à mi-hauteur et disposées dans des sorbonnes. L'échantillon à

tester est placé, sans tassement et à température ambiante, dans un cube au moyen d'une spatule. La surface est nivelée afin d'enlever l'excès de produit.

Au moins trois cubes de volumes différents sont utilisés parmi les suivants: 8 cm³, 125 cm³, 343 cm³, 1000 cm³ (= 1 litre) ou 2744 cm³. Toutes les faces de ces cubes, sauf la face supérieure, sont formées de toile métallique de maille 10 µm, suffisamment fine pour éviter le passage du produit, mais ne freinant pas la diffusion d'oxygène.

Le thermocouple qui mesure la température au centre de l'échantillon (par l'armature métallique en forme de cube) est maintenu par une armature posée sur la claie.

Durant l'essai, on mesure au moyen de thermocouples de type K:

- la température d'ambiance à l'intérieur de l'étuve;
- la température au centre de l'échantillon soumis à l'essai.

Le cube ainsi préparé est introduit dans une étuve dont la température a été préalablement stabilisée à une valeur définie. Le cube est centré sur la claie, à mi-hauteur de l'étuve, comme indiqué sur la figure 2.

L'évolution de la température au sein de l'échantillon est analysée après une période d'induction plus ou moins longue en fonction des produits:

- si cette température augmente brusquement et

dépasse la température d'ambiance de l'étuve de quelques dizaines de °C, l'auto-échauffement s'est produit;

- si cette température, après avoir atteint puis dépassé la valeur de consigne, observe un palier à une température voisine de la consigne (valeur de la consigne à quelques °C près), l'auto-échauffement ne s'est pas produit.

La température d'auto-échauffement (ou température critique) est la température située au centre de l'intervalle de 5°C, encadré par les deux températures de l'étuve pour lesquelles:

- l'auto-échauffement ne s'est pas produit, d'une part;
- l'auto-échauffement est observé, d'autre part.

De nouveaux essais sont effectués avec des cubes de même volume, à des températures différentes, jusqu'à obtenir la température critique correspondant au volume testé.

L'épreuve est terminée lorsque les températures critiques d'auto-échauffement correspondant à chacun des volumes testés ont été obtenues.

Les valeurs mesurées sont ensuite introduites comme données d'entrée dans un modèle théorique, issu de la théorie développée par Frank-Kamenetskii [4] (Cf. Encadré 3), qui permet de relier la dimension critique de stockage d'un produit à sa température.

Cas n°3: Produits pouvant former des couches soumises à une ambiance thermique chaude

Dans ce cas, l'évaluation du risque d'auto-échauffement ne peut pas s'appuyer sur la valeur de la température minimale d'inflammation en couche du produit. En effet, cet essai est effectué sur une plaque chauffée dans une ambiance froide, ce qui n'est pas représentatif de ces situations industrielles. L'essai en étuve isotherme, avec des paniers cubiques en ambiance chaude, n'est pas non plus directement représentatif de ces situations.

C'est pourquoi un nouveau protocole expérimental adapté à la mesure des températures d'inflammation de couches en ambiance chaude a été développé par l'Ineris.

L'utilisation d'une étuve plutôt qu'une plaque chauffante permet de mesurer la température d'inflammation en couche, en ambiance chaude, dans des conditions expérimentales différentes. En effet, sur une plaque chaude, la température en surface de la plaque est égale à la température de consigne, mais l'air environnant est à température ambiante, uniquement chauffé par convection naturelle et rayonnement thermique. Au contraire, dans l'étuve isotherme à convection forcée, la température peut être considérée comme homogène au sein de l'étuve, on se trouve alors dans une ambiance chaude. Le matériel utilisé est similaire à celui mis en œuvre pour les essais d'inflammation sur la plaque chaude.

ENCADRÉ 3

LE MODÈLE DE FRANK-KAMENETSKII [4]

$$r = \sqrt{\alpha_c} T_e \exp\left(\frac{N}{2T_e} - \frac{M}{2}\right) \quad \text{Équation 1}$$

avec:

r: demi-arête du cube (m)

α_c : facteur de forme (Cf. Tableau 1)

T_e : température de l'étuve à la condition critique (K)

| Forme du stockage de dimension critique R_c | Valeur du facteur de forme |
|---|----------------------------|
| Plaque infinie (épaisseur = $2.R_c$) | 0,857 |
| Cylindre infini (rayon = R_c) | 2,000 |
| Sphère (Rayon = R_c) | 3,333 |
| Petit cylindre (rayon = R_c , hauteur = $2.R_c$) | 2,844 |
| Cube (arête = $2.R_c$) | 2,569 |

Tableau 1: Valeurs des facteurs de forme pour différents types de stockage [4]

Pour chacun des points expérimentaux (R_c , T_c), on calcule les coefficients a et b, suivant les relations:

$$a = \ln(2,569) + 2 \cdot \ln(T_c / R_c) \quad \text{Équation 2}$$

$$b = 1 / T_c \quad \text{Équation 3}$$

Avec: 2,569: facteur de forme correspondant au volume cubique utilisé dans le test [4],

T_c : température critique d'auto-échauffement mesurée (K)

R_c : dimension critique (m)

D'après le modèle théorique utilisé, les points de coordonnées (a; b) sont alignés suivant une droite de coefficients:

Pente = - N

Ordonnée à l'origine = M

Les expressions de ces coefficients en fonction des caractéristiques du matériaux testé sont les suivantes [4]:

$$N = E/R \quad \text{Équation 4}$$

$$M = E \cdot Q \cdot \rho \cdot A / (\lambda \cdot R) \quad \text{Équation 5}$$

Avec:

E: énergie d'activation apparente ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

R: constante universelle des gaz parfaits ($8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

Q: chaleur massique de réaction ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)

ρ : masse volumique ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

A: facteur pré-exponentiel de l'équation d'Arrhénius (s^{-1})

λ : conductivité thermique ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

L'observation de la couche durant les essais n'étant pas possible, les critères d'inflammation s'appuient uniquement sur les températures mesurées.

En outre, l'observation du résidu après essai permet de confirmer l'inflammation lorsqu'il apparaît carbonisé. Les critères d'inflammation choisis pour ces essais sont:

- la température de la couche supérieure ou égale à 450°C;



FIGURE 3 → Vues du cercle (sans produit à tester) sur la plaque en céramique (gauche) et sur la plaque métallique (droite).



© Alexis Vignes/Ineris

FIGURE 4 → Vue des différents produits soumis aux essais d'inflammation en couche et d'auto-échauffement.



© Alexis Vignes/Ineris

TABLEAU 1 → Caractéristiques des différents produits soumis aux essais d'inflammation en couche et d'auto-échauffement.

| PRODUIT | N° | GRANULOMÉTRIE | TAUX D'HUMIDITÉ (%) |
|------------------|----|-----------------------|---------------------|
| Hêtre broyé | 1 | 24 µm [Laser] | 4,3 |
| Poussière de blé | 2 | 62% > 315 µm [tamis] | 10,3 |
| Charbon « Lucy » | 3 | 29 µm [Laser] | 1,4 |
| Bois | 4 | 33% > 315 µm [tamis] | 9,1 |
| Luzerne | 5 | 100% > 315 µm [Tamis] | 7,9 |
| Chenevotte | 6 | 55% > 315 µm [Tamis] | 8,3 |
| Cacao | 7 | 8 µm [Laser] | 2,9 |
| Fibre de pois | 8 | 55 µm [Laser] | 7,6 |

• ou l'accroissement de température de la couche supérieur ou égal à 250°C par rapport à la température de la surface chaude.

Afin d'observer si la nature du matériau supportant le cercle et le produit a une influence sur les résultats, des essais comparatifs ont été effectués avec une plaque métallique, très bonne conductrice de la chaleur, et une plaque isolante en céramique, qui diminue les échanges de chaleur entre la plaque et le produit. Ces deux plaques sont représentées sur la figure 3.

Les températures d'inflammation en couche de 5, 10 et 15 mm en ambiance chaude ont été mesurées pour huit produits organiques représentatifs de ceux mis en œuvre dans des sècheurs industriels. Ces produits sont représentés sur la figure 4 et listés dans le tableau 1.

Leur granulométrie a été mesurée, soit par tamisage mécanique, elle est dans ce cas exprimée en masse, soit par granulométrie laser en milieu liquide: elle est dans ce cas exprimée en volume (moyenne des granulométries médianes de trois prélèvements).

Le taux d'humidité a été mesuré par pesage différentiel avant et après séchage à 105°C pendant 30 min. Les résultats ont ensuite été comparés aux valeurs de températures minimales d'inflammation (TMI) en couche, déterminées par la méthode sur plaque chauffante, décrite précédemment. L'ensemble des résultats obtenus est rassemblé dans le tableau 2.

Comparaison entre les TMI en couche de 5 mm et les températures d'inflammation en couche de 5 mm en ambiance chaude sur une plaque métallique

Les conditions expérimentales de ces deux types d'essais ne varient que par la température de l'ambiance environnant l'échantillon.

Les résultats montrent que la température critique d'inflammation en étuve est inférieure de 60 à 120°C à la TMI sur la plaque chaude. De tels écarts s'expliquent par le fait que la chaleur générée par les réactions d'oxydation du produit testé s'évacue moins facilement lorsque la température ambiante est plus élevée.

| Produit | N° | TMI [NF EN 50281-2-1] | Température d'inflammation [Nouveau protocole] | | | |
|------------------|----|-----------------------|--|-----------------|----------|------------|
| | | 5 mm * | 5 mm * | 5 mm ** | 10 mm ** | 15 mm ** |
| | | Plaque chauffante | Plaque métallique | Plaque isolante | | |
| Hêtre broyé | 1 | 290 | 220 | 215 | 190 | Non mesuré |
| Poussière de blé | 2 | 350 | 240 | 250 | 225 | 210 |
| Charbon de Lucy | 3 | 330 | 210 | 210 | 175 | 165 |
| Bois | 4 | 330 | 270 | 265 | 235 | 215 |
| Luzerne | 5 | 380 | 260 | 270 | 250 | Non mesuré |
| Chenevotte | 6 | 300 | 230 | 240 | 215 | Non mesuré |
| Cacao | 7 | 260 | 200 | 200 | 185 | 170 |
| Fibre de pois | 8 | 270 | 200 | 215 | 195 | 185 |

Les températures indiquées dans le tableau sont celles pour lesquelles l'inflammation du produit testé ne s'est pas produite.
* mesures à 10 °C près; ** mesures à 5°C près.

←TABLEAU 2
Résultats des
mesures de TMI
en couche (°C)
et des
températures
d'inflammation
en couche en
ambiance chaude
(°C) sur plaques
métallique
et isolante.

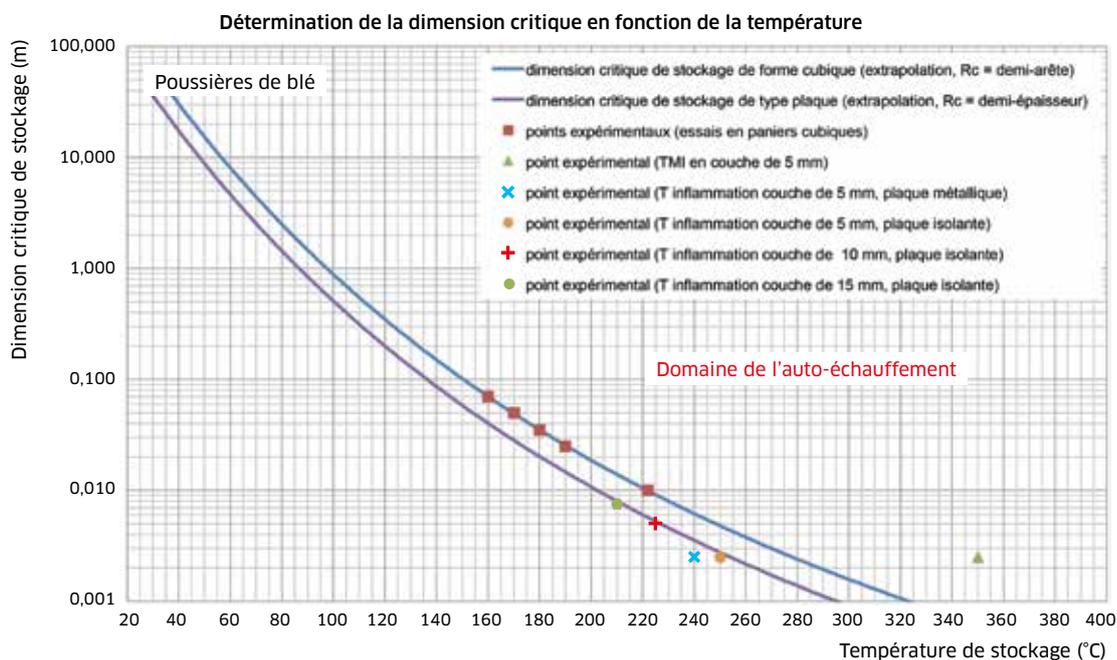
Comparaison entre les températures d'inflammation en couche de 5 mm en ambiance chaude sur une plaque métallique et sur une plaque isolante

Les essais en étuves isothermes ont été menés sur deux plaques distinctes. La plaque métallique est caractérisée par une conductivité thermique élevée, tandis que la plaque isolante offre une conductivité thermique moindre. La nature de la plaque doit donc être adaptée à la situation industrielle que l'on cherche à reproduire. En effet, une plaque isolante sera, par exemple, représentative d'un stockage de produit sur le sol, alors qu'une plaque métallique est plus proche d'une situation dans laquelle un amas de produit s'accumule sur la paroi d'un sécheur.

Comparaison entre les températures d'inflammation en couche de différentes épaisseurs en ambiance chaude sur une plaque isolante

L'inflammation d'une couche de 10 mm est obtenue pour des températures inférieures à celles correspondant à des couches de 5 mm, toutes choses égales par ailleurs. La différence entre ces deux températures d'inflammation varie entre 15 et 35 °C. Il en est de même lorsque l'on compare les températures critiques d'inflammation des couches de 10 et 15 mm, l'écart de température variant dans ce cas de 10 à 20°C.

Ceci est cohérent avec le fait que les températures d'auto-échauffement sont d'autant plus élevées que les dimensions de stockage sont faibles.



←FIGURE 5
Comparaison des
résultats et de
la modélisation
des températures
critiques pour les
poussières de blé.



POUR EN SAVOIR +

- *Les mélanges explosifs. 2. Poussières combustibles*. INRS, ED 944, 2006, 67 p.
- *Mise en œuvre de la réglementation relative aux atmosphères explosives (ATEX). Guide méthodologique*. INRS, ED 945, 2011, 64 p.
- *Explosion sur le lieu de travail*. INRS, ED 5001, 2013, 4 p.
- Dossier web – Explosions sur le lieu de travail: www.inrs.fr.
- Rapport d'étude n° DRA – 2005 - 46055 – Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels (DRA35 – Rapport Oméga 11) – Connaissance des phénomènes d'auto-échauffement des solides combustibles. Accessible sur: www.ineris.fr

Pour les situations dans lesquelles un produit est mis en œuvre en ambiance chaude, il est également possible de déduire une température critique d'inflammation à partir du résultat d'essais d'auto-échauffement en étuves isothermes, en mettant en évidence la relation entre la température et la dimension critique de stockage d'un produit. Ces essais sont certes réalisés dans des paniers cubiques, mais si le facteur de forme est adapté dans l'équation de corrélation des résultats expérimentaux, il est possible d'obtenir des résultats pour un stockage en forme de plaque. Afin d'évaluer l'incertitude associée à cette méthode, les températures d'inflammation en couche des huit produits, mesurées avec le nouveau protocole, ont été comparées aux résultats issus de l'exploitation des essais d'auto-échauffement en étuves isothermes, dans le cas d'un stockage en forme de plaque.

À titre d'exemple, cette comparaison est représentée sur la figure 5.

Les points expérimentaux correspondant aux mesures de températures d'inflammation de couches en ambiance chaude et de la TMI en couche sur plaque chaude y ont également été reportés.

De façon générale, la modélisation de l'auto-échauffement établie sur des résultats expérimentaux en paniers cubiques conduit à des résultats très proches des mesures de température d'inflammation de couches en ambiance chaude effectuées sur une plaque isolante, en particulier pour six produits sur les huit testés. Dans le cas du hêtre broyé, les températures d'inflammation expérimentales de couches de 5 mm et 10 mm sont inférieures de respectivement 30°C et 40°C à celles obtenues par la modélisation de l'auto-échauffement.

Pour la luzerne, la température d'inflammation expérimentale de la couche de 5 mm est supérieure de 10°C à celle obtenue par la modélisation de l'auto-échauffement. Ceci pourrait s'expliquer par le vieillissement des produits entre les essais en étuves isothermes et les essais d'inflammation en couche, qui ont été réalisés à un an d'intervalle.

Ce résultat confirme la qualité du modèle utilisé. Les

hypothèses du modèle de Franck-Kamenetskii représentent une situation dans laquelle les échanges thermiques entre le produit et l'air ambiant sont prépondérants par rapport aux échanges entre le produit et la plaque support. C'est pourquoi les résultats des essais effectués avec une plaque isolante sont plus proches du modèle que ceux correspondant à l'utilisation de la plaque métallique.

Conclusion

La comparaison de l'ensemble des résultats obtenus montre que les valeurs de TMI en couche de 5 mm mesurées suivant la norme NF EN 50281-2-1 sont très supérieures aux valeurs de température d'inflammation en ambiance chaude. L'utilisation, comme cela est fréquemment observé, de la TMI en couche de 5 mm pour la prévention de l'auto-échauffement de produits mis en œuvre en ambiance chaude est donc à bannir. Cette situation correspond aux équipements dans lesquels des produits sont séchés sous forme de couches traversées par de l'air chaud ou aux équipements dans lesquels le produit peut s'accumuler sous forme d'amas sur les parois chauffées par le flux d'air de séchage, comme par exemple une tour d'atomisation ou un sécheur à tube.

La définition des températures de fonctionnement sûres des sécheurs et des tours d'atomisation devrait idéalement s'appuyer sur des essais d'inflammation de couches en ambiance chaude sur une plaque métallique. Ces températures peuvent également être déduites de la modélisation établie sur des essais d'auto-échauffement en paniers cubiques. Cependant, une marge de sécurité de 20°C doit, dans ce cas, être retenue.

En complément, en fonction de la sensibilité à l'inflammation par étincelle du solide divisé, il convient également de prendre en compte le risque d'inflammation par les phénomènes électrostatiques. ●

1. Pour des raisons de meilleure compréhension, les températures et différences de températures sont exprimées en °C dans l'article.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Norme NF EN 50281-2-1 – Matériels électriques destinés à être utilisés en présence de poussières combustibles – Partie 2-1: méthodes d'essai – Méthodes de détermination de la température minimale d'inflammation de la poussière. La Plaine – Saint Denis, Afnor, 2000, 29 p.
- [2] Norme NF EN 60079-14 – Atmosphères explosives – Partie 14: Conception, sélection et construction des installations électriques. La Plaine – Saint Denis, Afnor, 2014, 151 p.
- [3] Norme NF EN 15188 – Détermination de l'aptitude à l'auto-inflammation des accumulations de poussières. La Plaine – Saint Denis, Afnor, 2007, 20 p.
- [4] BOWES P.C. *Self Heating: Evaluating and Controlling the Hazards*. Amsterdam, Elsevier, 1984, 500 p.