

Lastungsöffnungen geschützten Kammer mit großem Volumen (100 m³) zu messen, und die Mittel für die Brandmeldung und Brandlöschung festzulegen, die auf einem Zerstäubungsturm und seinen Zusatzeinrichtungen fest zu installieren sind.

Aufgrund einer Befragung über die Unfälle, die sich im Genossenschaftssektor ereignet haben, und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der vorhergehenden Untersuchung wurde eine Broschüre verfaßt mit dem Titel "Brand- und Explosionssicherheit der Milchzerstäubungstürme", in der die Maßnahmen zur Brand- und Explosionsverhütung, die Brandbekämpfungsmittel und die zum Schutze vor den Wirkungen der Explosion zu installierenden Entlastungsvorrichtungen in ausführlicher Form beschrieben werden.

Jusqu'à la fin de l'année 1980, sur le parc français de tours d'atomisation du secteur coopératif assuré par les Assurances Mutuelles Agricoles, il est survenu en moyenne quatre sinistres importants par an. Dans bon nombre de cas, le sinistre est un incendie accompagné d'une explosion du nuage de poussières de lait. Il peut aussi se produire uniquement une explosion.

Les dommages matériels au niveau de la tour d'atomisation et des vibro-fluidiseurs ont conduit, dans un certain nombre de cas, à remplacer totalement la tour du fait de dégâts qui pouvaient se chiffrer à 3,5 millions de francs, sans compter les pertes d'exploitation.

Devant cette situation, la Caisse Centrale des Mutuelles Agricoles a confié au Centre d'Etudes et Recherches de Charbonnages de France une étude qui s'est concrétisée par la rédaction d'une notice de recommandations concernant la prévention de l'incendie et de l'explosion et la définition des mesures de protection et des moyens d'intervention en cas de sinistre.

Après un bref rappel sur les mécanismes de développement de l'incendie et de l'explosion, nous donnerons d'abord quelques constatations sur les sinistres survenus.

Nous décrirons ensuite les mesures à adopter pour assurer la prévention de l'incendie et de l'explosion en nous attachant tout particulièrement au mécanisme d'auto-inflammation des couches de poudre de lait.

Enfin, nous nous intéresserons aux moyens de protection contre l'incendie, notamment aux détecteurs et systèmes d'extinction installés sur les tours, et contre l'explosion, notamment à l'installation d'évents.

I. MECANISMES DE DEVELOPPEMENT DE L'INCENDIE ET DE L'EXPLOSION

Les poudres de lait et leurs dérivés brûlent et peuvent donc être à l'origine d'incendie : de plus, lorsque la poudre est en suspension dans l'air, elle est susceptible d'exploser en provoquant les mêmes effets qu'une explosion de gaz. Si le nuage explosible n'intéresse, au démarrage de l'explosion, qu'une faible partie du volume

important volume (100 m³) protégé par vent-holes, and the definition of the fire detection and extinction means to be installed in determined spots on an atomization tower and its annexes.

Subsequently to an investigation on the accidents in the cooperation sector, and taking into account the results of the previous study, a brochure was written : "Fire and Explosion Security of Milk Atomization Towers", describing in detail the measures which have to be taken for preventing fire and explosion, the fire extinguishing means and the vent-hole devices to be installed for protection against the explosion's effects.

de l'appareil, il faut savoir que les effets de pression de cette première explosion peuvent remettre en suspension des poussières déposées. On assistera alors à la propagation de l'explosion dans tout le volume de l'appareil concerné, voire dans des appareils voisins reliés à celui-ci.

La combustion (inflammation) ne peut se produire que si on porte la poudre de lait à une température suffisante.

L'inflammation peut être obtenue dans un temps court si on dispose au moins en un point d'une température élevée (au moins 600 à 800°C) par l'action d'une flamme, de particules incandescentes, d'une surface chauffée, d'un frottement mécanique important. Elle peut aussi se produire au bout de plusieurs heures, lorsque des dépôts de poudre sont placés à des températures nettement plus faibles - 100 à 200°C -, par suite de phénomènes d'auto-échauffement et d'auto-inflammation. Nous reviendrons sur ces différents points dans le paragraphe consacré aux causes d'inflammation.

II. CONSTATATIONS SUR LES SINISTRES

1. MATERIEL UTILISE

Le produit pulvérulent est fabriqué à partir de concentré en solution aqueuse. Pour ce faire, ce concentré est envoyé à l'aide d'un dispositif de pulvérisation (turbine d'atomisation ou buses haute pression) dans une tour d'atomisation dont le volume est fréquemment supérieur à 500 m³. De l'air chaud, porté à une température dépendant du produit traité, permet de réaliser une vaporisation rapide de l'eau. A titre d'ordre de grandeur, on peut indiquer pour le lait entier et les produits réengraissés une température maximale de 185°C et pour le lait écrémé une température maximale de 220°C.

Dans les installations classiques, le produit sec est ensuite récupéré à la base de la tour et dans des cyclones, puis envoyé par transport pneumatique à des installations de stockage : sacs, conteneurs, silos. Mais à la sortie de la tour d'atomisation peuvent être également présents un ou plusieurs vibro-fluidiseurs pour parfaire éventuellement le séchage avec de

l'air chaud et/ou assurer un bon refroidissement de la poudre avec de l'air froid afin de stabiliser le produit (graisses éventuellement).

Des sinistres - incendie et explosion - démarrent généralement dans les tours d'atomisation et peuvent se propager dans les installations annexes. Des incendies sont aussi connus dans les silos.

On a constaté des sinistres aussi bien avec les tours à chauffage direct (envoi de fumées de combustion) qu'à chauffage indirect (air échauffé dans un échangeur).

Actuellement, on assiste au développement des procédés dits "séchage deux temps" et "séchage à multiple effet" où le séchage est moins important dans la tour d'atomisation et se poursuit dans des vibro-fluidiseurs. Un sinistre récent dans un séchage deux temps montre que ce procédé n'est pas non plus exempt de risque. Avec le séchage multiple effet, l'expérience est trop récente pour conclure; on peut toutefois noter que le produit fabriqué est nettement moins fin.

2. Produits traités

Les produits traités sont principalement le lait ou ses dérivés : lait entier, lait écrémé, lait réengraissé (30, 35, 37, 40 % de matières grasses en poids), lactosérum doux ou acide et lactosérum réengraissés (30, 35, 40 % de matières grasses en poids), babeurre, voire d'autres produits (gomme arabique par exemple). Les matières grasses utilisées pour le réengraissement sont le suif, le coprah, le saindoux et des émulsifiants.

Des sinistres ont été constatés aussi bien avec le lait entier qu'avec le lait écrémé, le lait réengraissé et le lactosérum. Il semblerait que ce soit la fabrication du lait réengraissé et du lait entier qui entraîne le plus de sinistres.

3. Appareils où se produit le sinistre

L'incendie prend souvent naissance dans la tour ou les vibro-fluidiseurs et peut se propager à toute l'installation. C'est très fréquemment le personnel d'exploitation qui détecte l'incendie : odeur de brûlé, présence de produits marrons ou noirs à l'ensachage, apparition de flamme, détection d'une température anormalement élevée.

Toutefois, la plupart des détecteurs de température actuellement utilisés pour le contrôle de marche de la tour ne peuvent pas être utilisés pour détecter le démarrage de l'incendie. Il faut donc installer des détecteurs spécialement adaptés.

Par contre, sur les vibro-fluidiseurs, toute flamme s'y produisant entraîne une élévation de température plus facilement détectable.

Du fait de l'aération de la poudre dans le(s) vibro-fluidiseur(s), la propagation d'un incendie dans ce(s) appareil(s) est favorisée. Bien souvent, les particules de poudre en combustion proviennent de la chambre d'atomisation.

Un incendie est aussi connu dans un sto-

ckage, sans doute en raison de frottements importants au niveau d'une vis d'extraction.

L'incendie dans la tour et ses accessoires peut se communiquer au bâtiment. Comme plusieurs tours d'atomisation peuvent être placées dans un même bâtiment, ainsi que le stockage des produits fabriqués, les risques d'extension de l'incendie sont nombreux et peuvent avoir de graves conséquences. En cas de sinistre, il faut donc arrêter toutes les installations présentes.

4. Origine et développement de l'explosion

L'explosion des nuages de poussières fait appel aux mêmes mécanismes de combustion que l'incendie, donc au même combustible et aux mêmes sources d'inflammation. Toutefois le dégagement de chaleur s'effectue plus rapidement et, comme on se trouve dans une enceinte complètement fermée, les effets de pression dus à l'explosion peuvent être importants.

Un certain nombre de sinistres ont montré que des explosions se sont produites dans les tours d'atomisation et ont conduit à des dégâts matériels très importants au niveau de la tour (déformation de la tour, arrachement du toit, ce qui a nécessité le remplacement complet de la tour) et parfois dans les bâtiments (fissuration de la charpente, arrachement du bardage). De plus, il existe des risques de dommages corporels.

Sur un total de 35 accidents incendie-explosion survenus en France entre 1967 et 1982 dans les installations assurées par les Assurances Mutuelles Agricoles, 14 étaient des explosions suivies ou précédées par des incendies; ce sont souvent ces explosions qui ont occasionné les dommages les plus importants.

III. PREVENTION DE L'INCENDIE ET DE L'EXPLOSION

Les constatations après sinistres que nous venons de décrire conduisent à orienter la prévention de l'incendie et de l'explosion dans quatre directions :

- . limitation des dépôts de poussières,
- . réduction des causes d'inflammation,
- . mesures de prévention liées à la conception du matériel et aux produits traités,
- . maintenance du matériel et formation du personnel.

1. Limitation des dépôts de poussières

Limiter le plus possible les dépôts de poussières à l'intérieur de la tour d'atomisation est une mesure de prévention importante. Cette mesure doit aussi être appliquée à toutes les autres parties de l'installation. Notamment il convient d'attirer l'attention sur les risques d'émission de poussières qu'introduit la présence de silos de stockage et des dispositifs d'ensachage dans le même local que la tour d'atomisation. En aucun cas, on ne doit accepter que les manches de décompression

des silos ou de dépoussiérage des appareils soient situées dans le bâtiment de la tour ou en communication directe avec celui-ci. Ceci ne vise pas le cas des manches placées dans un capotage avec évacuation de l'air à l'extérieur du bâtiment.

Dans la tour d'atomisation (fig. 1), les dépôts se forment généralement au niveau du raccord de la partie cylindrique avec la partie conique, sur les points de la tour restés humides au moment du démarrage et sur la gaine d'extraction d'air. Mais certaines améliorations proposées par les constructeurs, telles que le balayage pneumatique des parois de la tour, la conception des matériels (gaine d'évacuation d'air en particulier, registres, coudes...), pourraient permettre de diminuer l'importance des dépôts.

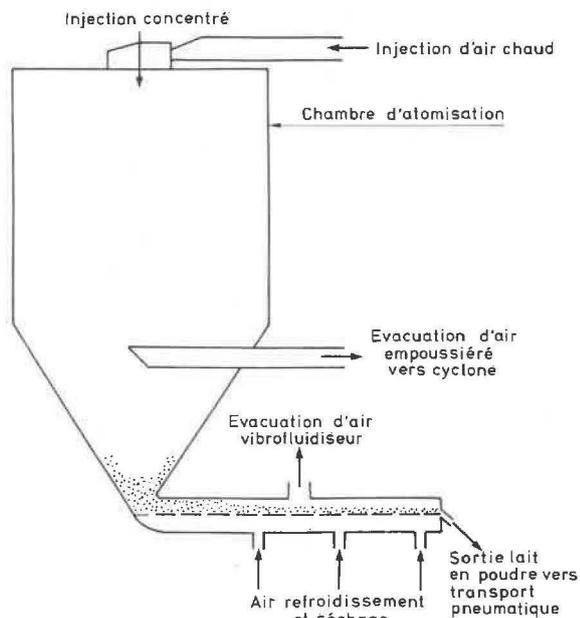


Fig. 1 : Schéma de principe d'une tour d'atomisation

Pour éviter au maximum la formation des dépôts, en ce qui concerne la tour d'atomisation, le balayage pneumatique journalier doit être appliqué. On doit vérifier à cette occasion qu'il n'y a pas de dépôt au niveau du disperser d'air. S'il s'avère que l'encrassement des parois ou de la gaine d'évacuation d'air est important une fréquence plus élevée sera adoptée. Il est à souligner que la conception même de la chambre, le mode exact de pulvérisation du concentré et la nature du produit séché (caractère collant du produit, irrégularité dans la viscosité des concentrés ...) peuvent jouer un rôle non négligeable sur l'apparition des dépôts dans la chambre.

Ces mesures ne dispensent pas d'assurer un nettoyage à l'eau, de préférence avec un dispositif d'aspersion sous pression. Ceci permet de se débarrasser des dépôts sur et dans la gaine d'évacuation d'air, et d'enlever les croûtes sur le reste de la chambre. La fréquence de nettoyage sera d'autant plus grande que les produits sont plus collants : le nettoyage à l'eau sera indispensable lorsque la présence d'agglomérats jaunes est constatée.

Les autres annexes de la tour, tels les

cyclones et le transport pneumatique, doivent aussi être nettoyées régulièrement. Cette opération sera facilitée par la mise en place de buses d'injection d'eau.

Le contrôle visuel de l'absence de dépôts sur l'ensemble de l'installation est indispensable après chaque lavage.

Dans tous les cas, il faut assurer un séchage correct de la tour et de ses annexes avant le redémarrage de l'installation pour éviter les zones humides où pourraient s'accrocher les dépôts de poussières.

2. REDUCTION DES CAUSES D'INFLAMMATION

2.1. Auto-inflammation

A partir de l'analyse d'accidents survenus en France, il apparaît que l'auto-inflammation des dépôts de poussières dans la tour ou ses annexes est une des causes d'inflammation les plus fréquentes. Cette affirmation ne peut être mise en doute à partir des travaux (1) et (2).

Dans les tours, l'auto-échauffement et l'inflammation des poussières déposées dans les appareils peuvent se produire d'autant plus facilement que les couches de poussières sont épaisses, que leur temps de séjour est important et que la température de l'air environnant est élevée.

Dans les annexes des tours d'atomisation, vibro-fluidiseurs notamment, bien qu'on se trouve à températures plus faibles (de l'ordre de 80°C), le risque d'inflammation existe aussi si des couches épaisses dans des zones mortes sont soumises à ces températures pendant de longues durées.

Pour une température de surface donnée, il existe une épaisseur critique du dépôt de poussières à partir de laquelle l'accélération de l'auto-échauffement se produit et peut conduire à l'inflammation.

2.1.1. Etude des conditions d'inflammation

Pour étudier les caractéristiques d'inflammation des couches de poudre de lait, nous avons entrepris un programme d'essais avec trois méthodes d'essais (essais isothermes (fig. 2), essais adiabatiques (fig. 3), essais directs de mise à feu (fig. 4)), afin de déterminer dans ces diverses conditions les vitesses d'échauffement et différentes caractéristiques thermodynamiques (énergie d'activation, ordre de la réaction ...).

Les caractéristiques précédentes et la connaissance des caractéristiques physiques des couches, telles que les coefficients de conductivité thermique et d'échange superficiel, ont permis de calculer avec des hypothèses simplificatrices les épaisseurs critiques à partir desquelles l'auto-inflammation de couches de poudre de lait est possible.

L'étude a été menée sur différents types de produits : un lait écrémé, un lait entier (à 26 % de matières grasses), un lait réengraissé à 37 % ou 40 % en suif, des lactosérums et des lactosérums réengraissés.

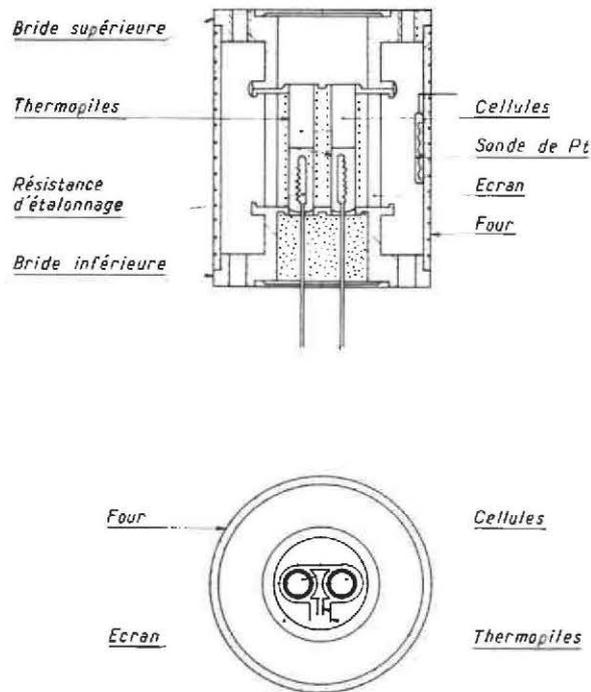


Fig. 2 : Schéma du calorimètre M C B pour essais isothermes

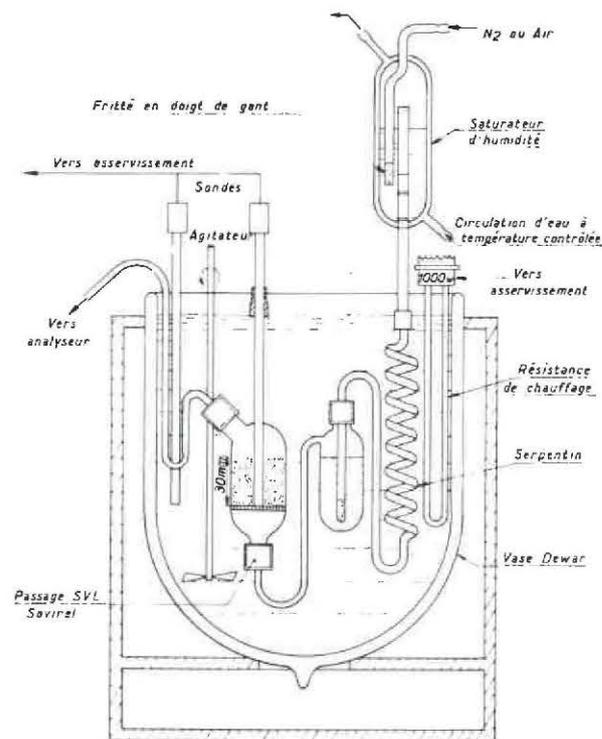


Fig. 3 : Essai adiabatique - Schéma du réacteur

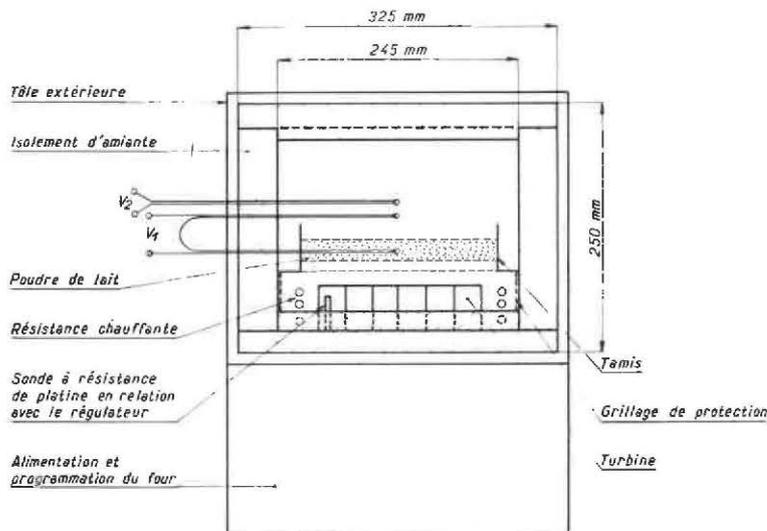


Fig. 4 : Appareil d'essai pour la détermination directe de la température critique

Essais isothermes

Dans ces essais, l'échantillon est maintenu à température constante et on mesure au cours du temps le flux de chaleur dégagé par les réactions exothermiques éventuelles.

Dans le calorimètre MCB (Arion) les essais effectués sur les échantillons de poudre - 100 mg environ -, sans séchage préalable, ont permis de mettre en évidence les principales réactions exothermiques obtenues (fig. 5 à 9).

L'examen des figures 5 à 9 montre que, dans le domaine 160-190°C, les produits possédant des matières grasses (lait entier,

lait réengraissé à 40 % de suif) sont le siège de deux réactions successives : la première, qui se produit rapidement, correspondrait à l'oxydation de la partie maigre du lait; la seconde, qui se déclenche avec un retard d'autant plus important que la température est plus faible, correspondrait à l'oxydation des matières grasses (3). L'importance du dégagement de chaleur de la réaction d'oxydation des matières grasses dépend nettement de la température et de la nature de la graisse; la période d'induction de cette réaction dépend de la température et est sans doute la conséquence de la présence d'agent inhibiteur naturel ou synthétique de l'oxydation. Pour examiner cet effet de la présence de l'inhibiteur, nous avons réalisé quelques

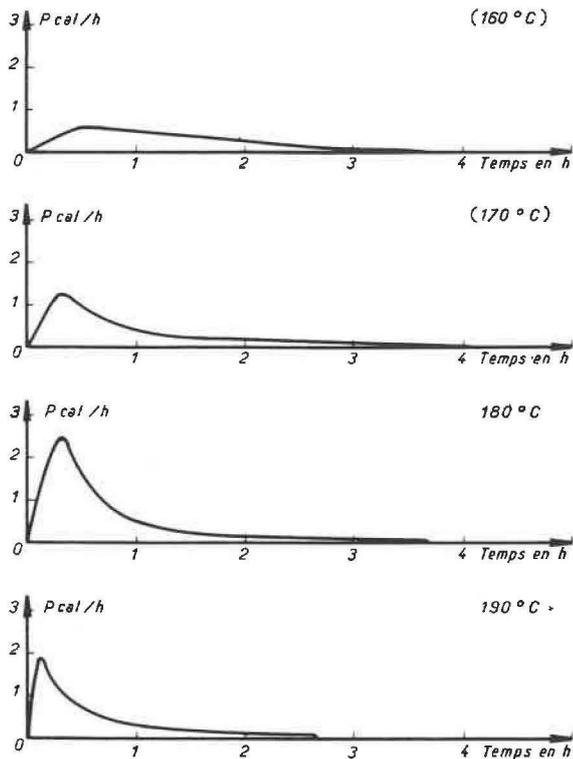


Fig. 5 : Essais au calorimètre MCB - Lait écrémé

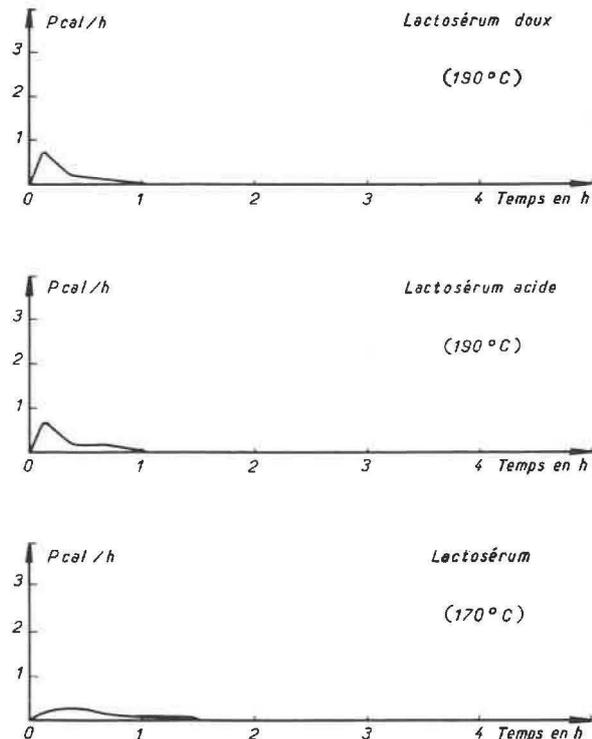


Fig. 6 : Essais au calorimètre MCB - Lactosérums

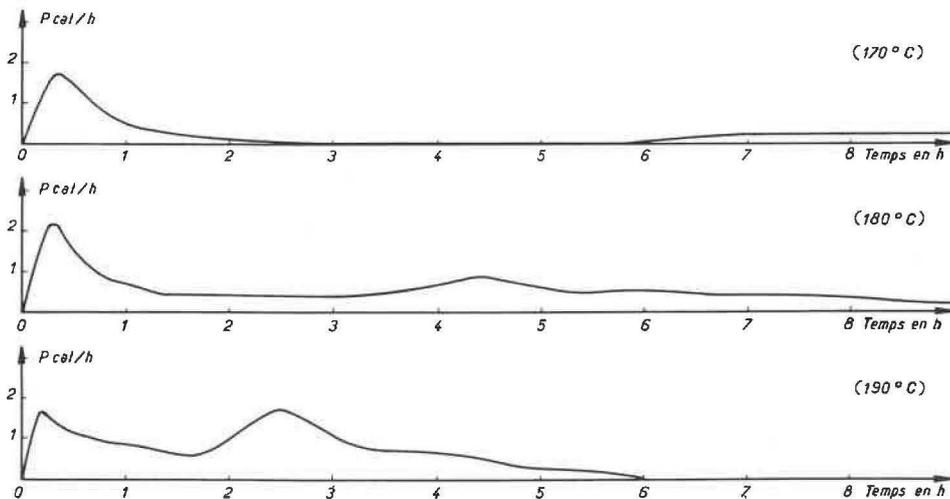


Fig. 7 : Essais au calorimètre MCB - Lait à 26 % MG

essais après vieillissement accéléré du lait entier à 90°C pendant 9, 20 et 30 jours. Les résultats ainsi obtenus (fig. 10) montrent que le pic dû à la réaction des matières grasses se déplace d'abord pour un vieillissement faible (9 jours) puis disparaît, ce qui est a priori paradoxal. On peut expliquer cette disparition par le fait qu'un certain nombre de réactions de transformation du lait, et donc de sa partie grasse, ont pu s'effectuer

pendant le vieillissement en dehors du calorimètre.

A partir des thermogrammes, par intégration dans le temps du signal donné par le fluxmètre, on peut calculer la chaleur dégagée par les deux réactions, ramenée à 1 g de produit (Q1 et Q2); ces valeurs sont indiquées dans le tableau I.

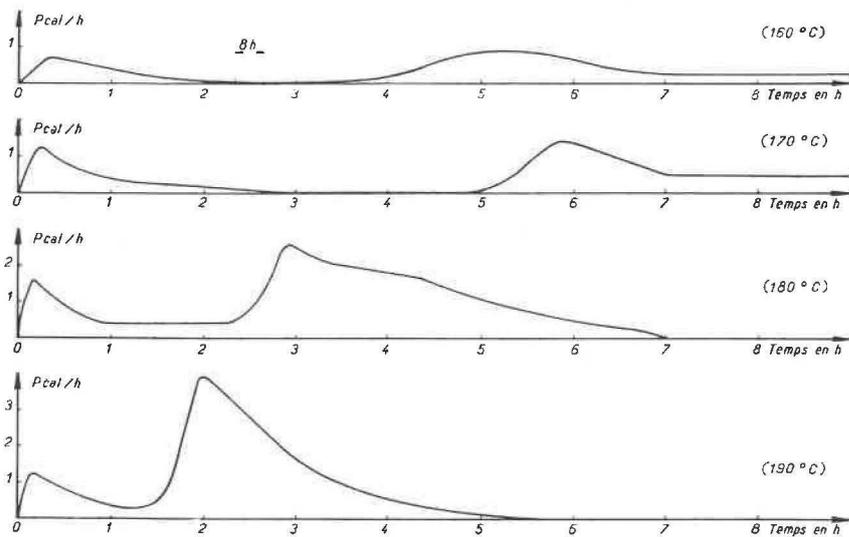


Fig. 8 : Essais au calorimètre MCB - Lait à 40 % MG

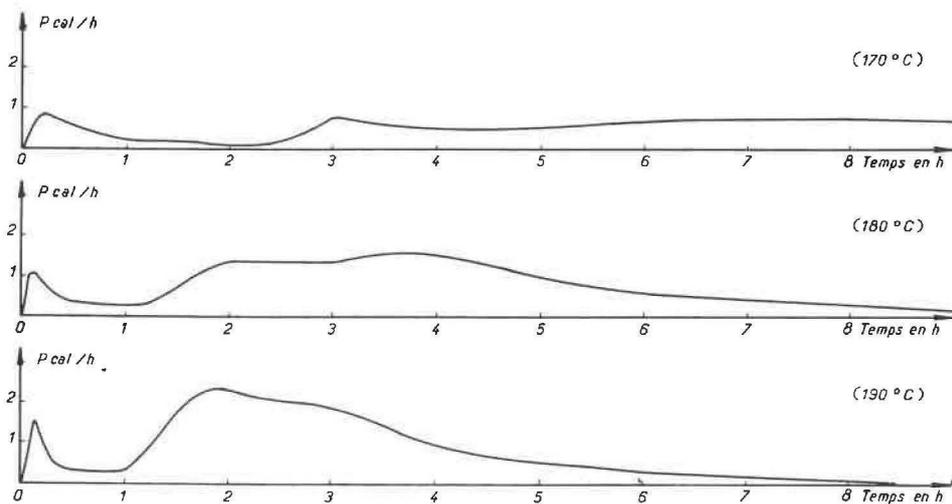


Fig. 9 : Essais au calorimètre MCB - Lactosérum réengraissé à 30 %

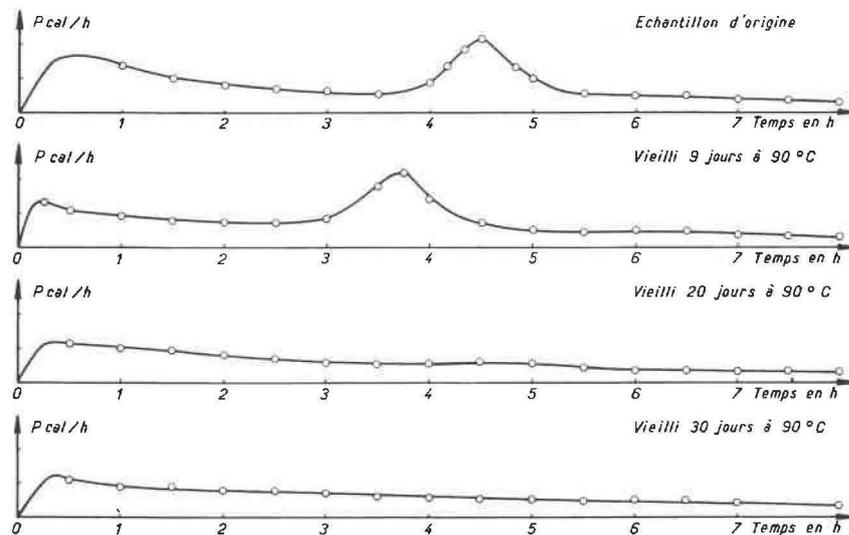


Fig. 10 : Essais au calorimètre MCB - Lait entier 26 % MG - $\theta = 190^\circ\text{C}$

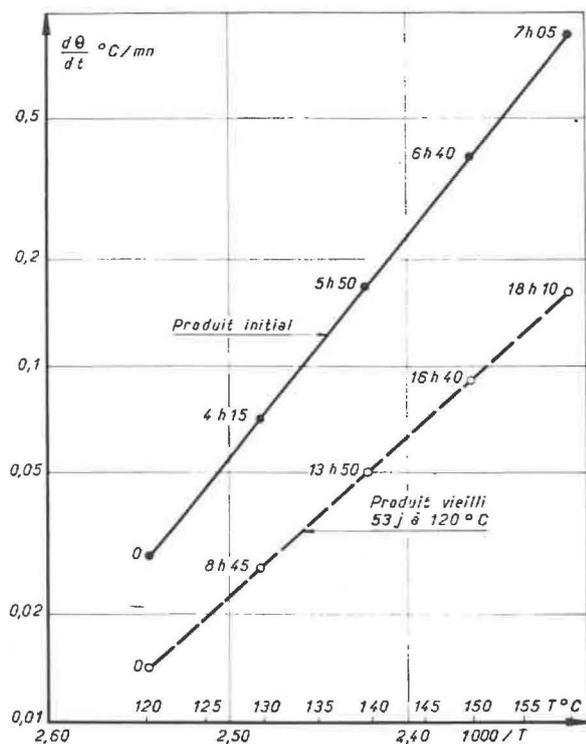


Fig. 14 : Calorimètre adiabatique - Lait réengraissé à 37 % MG - Comparaison produit initial et produit vieilli

différente : le bilan global dépend de la température. Par traitement thermique approprié, on détruit certainement les inhibiteurs d'oxydation, mais on modifie aussi la partie maigre du lait. Cependant, le vieillissement ne modifie pas fondamentalement la réactivité entre 120 et 160°C du lait entier et du lait réengraissé à 37 % de matières grasses.

Seule une étude beaucoup plus approfondie permettrait de mieux mettre en évidence le poids respectif de différentes réactions qui peuvent se produire entre 120 et 160°C.

Détermination de la température critique d'inflammation d'une couche de poudre

A partir des caractéristiques thermodynamiques des essais précédents, nous avons calculé à l'aide du modèle simplifié de Frank Kamenetski, avec pertes thermiques à la surface de la couche, la température critique T_S de la surface au-dessus de laquelle se produit l'auto-inflammation.

Les résultats de ces calculs sont donnés dans le tableau III.

Détermination directe des températures critiques d'inflammation

Avec l'appareil décrit sur la fig. 4, les principaux types de courbes obtenues sont donnés sur les figures 15 et 16.

Les températures critiques ainsi mesurées sont consignées dans le tableau III.

La comparaison de ces mesures avec les résultats des calculs précédents montre la

sévérité du modèle puisque, par essai direct, on trouve des températures critiques de 15 à 30°C plus élevées.

Si on effectue maintenant des comparaisons de nos résultats avec ceux de Duane (2), on constate que, pour le lait entier et le lait écrémé, les températures critiques mesurées sont différentes en valeurs absolues, mais c'est dans les deux cas le lait entier qui présente la température critique la plus faible.

Par contre, nous trouvons que c'est le lait à 40 % de matières grasses qui a la température d'inflammation la plus faible (155°C) de tous les produits examinés. Duane trouve lui que le lait réengraissé à 30 % de suif a une température critique (185°C) plus élevée que le lait écrémé et le lait entier. Précisons cependant que nous ne savons pas comment sont stabilisés les suifs dans ces deux cas et que les conditions d'essais sont différentes.

De plus, nous avons pu montrer que, pour le lait à 40 % de matières grasses, si on voulait obtenir l'inflammation dans un temps court (première réaction, voir fig. 16), il fallait porter le produit à 174°C. Cette simple remarque pourrait expliquer le résultat de Duane.

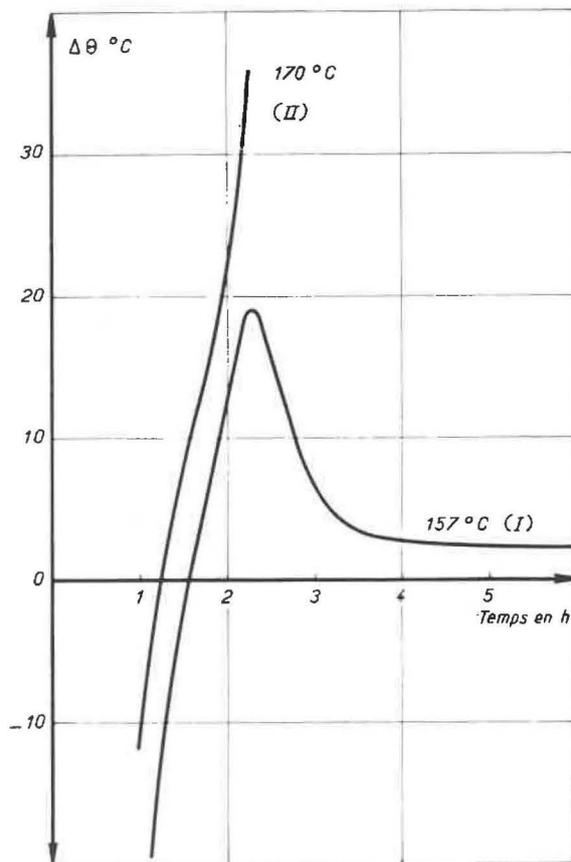


Fig. 15 : Détermination directe de la température critique - Lait écrémé

TABLEAU III. Température critique d'inflammation des couches de poussières

Nature de l'échantillon	Epaisseur couche mm	Température critique d'inflammation		
		modèle Frank Kamenetski	Essais directs Cerchar	Essais directs Duane (2)
Lait écrémé	20	142	170	181,8
	25			
	50	125		
Lait entier 26 % MG	20	148	160	177,2
	25			
	50	131		
Lait réengraissé 30 % MG	25			185-187
Lait réengraissé 37 % MG	20	147		
	50	131		
Lait réengraissé 40 % MG	20		155 : 2ème réaction (voir fig. 16) 174 : 1ère réaction	
Lactosérum	20	157		
	50	139		
Lactosérum réengraissé à 30 % MG	20		> 175	

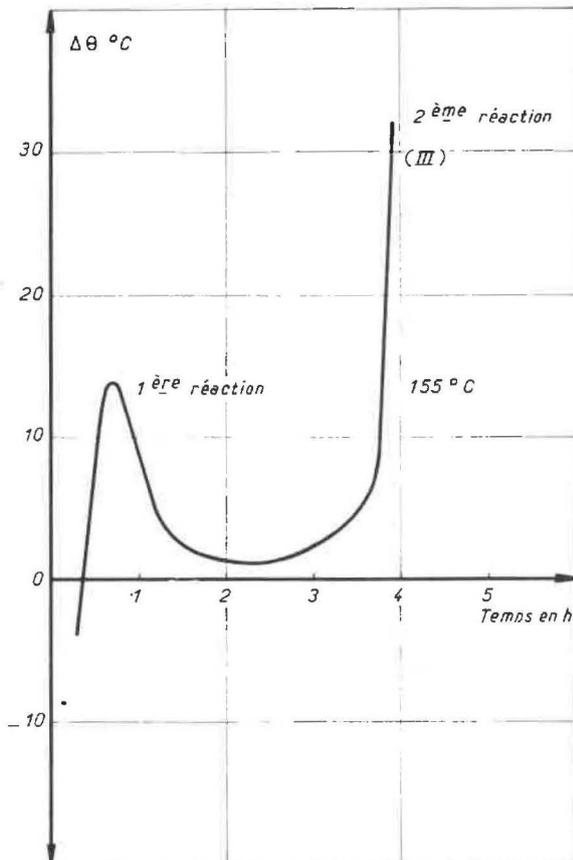


Fig. 16 : Détermination directe de la température critique - Lait à 40 % de matières grasses

2.1.2. Mesures de prévention à adopter

L'épaisseur des dépôts de poussières peut augmenter rapidement dans la tour par suite de conditions d'exploitation anormales (irrégularité dans l'alimentation en concentré, ou défaut de fonctionnement en général).

En cas de dérèglement, des dépôts au niveau de l'injection d'air chaud peuvent être portés à 170-220°C, températures auxquelles des couches de faible épaisseur peuvent s'enflammer. De la poussière peut aussi se déposer dans des zones mortes (gaine d'évacuation d'air de la tour, raccord de la partie cylindrique à la partie conique).

Le contrôle convenable des conditions de marche de l'installation et l'enregistrement de la température de sortie permettent d'améliorer la prévention de l'incendie et de l'explosion. A ce titre, les sondes de température utilisées doivent avoir un temps de réponse suffisamment court et on devra veiller à éviter leur encrassement important par des dépôts de poussières (contrôle régulier des sondes) qui conduirait à une indication de température erronée. Dans beaucoup de cas, les sondes utilisées ont un temps de réponse trop long (quelques minutes).

Les alarmes pour des seuils de température préétablis peuvent constituer une amélioration de la sécurité, car elles attirent l'attention du personnel d'exploitation sur les conditions de marche anormales.

Une élévation intempestive des températures de fonctionnement peut faciliter l'inflammation des dépôts de poussières dans la tour. Pour les tours à chauffage direct, les sécurités de fonctionnement sur le brûleur ne doivent pas être mises hors service !

Il est également important qu'un défaut d'atomisation de concentré soit signalé par une alarme au tableau de commande (par exemple, contrôle du niveau du concentré dans le bac d'alimentation, du débit de concentré, ...).

La nature et l'état des matières grasses ont une influence sur l'auto-échauffement. Leur contrôle est donc recommandé.

Enfin, on ne doit stocker en vrac en grande masse que des produits dont on a contrôlé la température. Cette mesure doit tout particulièrement être appliquée pour les produits réengraissés avec lesquels on peut craindre des élévations de température du fait de la cristallisation des matières grasses.

Des auto-échauffements peuvent aussi se produire si des dépôts de poudre sont présents dans le calorifuge de la tour ou sur un hublot éclairé.

Des fissures peuvent en effet se produire dans la paroi de la tour; de la poussière peut s'accumuler dans le calorifuge et demeurer pendant de longues durées à des températures de 80°C en moyenne. Des inflammations peuvent donc se produire. Un examen intérieur des tours doit donc être assuré régulièrement - chaque année par exemple - pour vérifier si des fissures sont apparues : une fuite d'eau lors du lavage est un indice de fissuration.

Les hublots munis d'éclairage ont été à l'origine d'incendie lorsque la lumière restait allumée pendant de longues périodes, par suite de l'échauffement et de l'inflammation de dépôts de poudre sur ces hublots. Pour éviter tout risque d'inflammation à ce niveau, dû au fait que la lumière restait allumée, il faut, par exemple, utiliser un bouton poussoir à pression.

2.2. Frottements au niveau de la turbine

Des frottements importants peuvent survenir, et surviennent effectivement, au niveau de la turbine d'atomisation par suite d'un défaut de celle-ci ou de coupures électriques. On arrive ainsi à obtenir des dépôts de matières qui conduisent à un encrassement et éventuellement à un charbonnement du produit qui, lorsqu'il se détache de la turbine, peut venir mettre à feu la poussière déposée ou en suspension dans la tour. De nombreux sinistres ont pour origine ce type de phénomène. Par contre, la rupture de l'arbre de la turbine ne paraît pas à l'origine d'incendie ou d'explosion.

L'objectif est d'être averti qu'il est apparu un fonctionnement anormal de la turbine, au moyen d'un détecteur de vibration par exemple. En cas de défaut, on doit arrêter l'atomisation dans les meilleurs délais et procéder au démontage de la turbine pour vérification.

Tout arrêt intempestif de l'installation de séchage entraînant en général, et conformément aux prescriptions du constructeur, un démontage et un nettoyage de la turbine, il est recommandé de monter un équipement de protection contre les coupures fugitives d'alimentation électrique (celles-ci représentant 90 % des causes d'arrêts intempestifs).

En cas de charbonnement au niveau de la turbine, on constate l'apparition de grains de couleur noirâtre dans les produits finis ou d'odeur anormale dans l'atelier. On doit alors arrêter l'installation.

Le passage d'eau dans une turbine encrassée n'a aucun effet. Lors du nettoyage d'une turbine encrassée, on doit s'assurer avant remontage qu'il ne reste aucun dépôt.

Le fonctionnement anormal peut être dû à un mauvais remontage de la turbine, à une détérioration des joints, ou à un encrassement. Seul, du personnel qualifié doit être autorisé à intervenir pour le nettoyage et le remontage de la turbine; le nettoyage journalier doit être réalisé pour éviter au maximum les dépôts. Un rééquilibrage de la turbine doit être effectué aussi régulièrement que possible (en moyenne une fois par an), même si on n'a pas constaté de défaut sur celle-ci.

Une attention toute particulière doit être apportée à l'opération de démarrage de la tour, qui doit s'effectuer aussi régulièrement que possible et en évitant des variations brutales des paramètres de fonctionnement et notamment des températures.

En aucun cas, il ne doit se produire de coupure de l'alimentation de la turbine en eau ou en concentré.

Il est souhaitable que l'enregistrement des températures d'air ait bien lieu car il constitue un bon moyen de contrôle de l'exécution correcte de cette opération.

Les dispositifs de contrôle de lubrification de la turbine, ainsi que du débordement accidentel du concentré dans la cuvette de l'atomiseur, doivent être prévus et régulièrement entretenus.

La tuyauterie d'alimentation de l'atomiseur doit être nettoyée à chaque arrêt.

Dans tous les cas, l'installation d'un dispositif de filtration du concentré est conseillée pour éviter le passage de corps étrangers.

Les distributeurs doivent être, bien sûr, adaptés au type de turbine d'atomisation et les types de turbine (canaux droits ou courbes) aux produits à atomiser.

Remarque : L'emploi de buses haute pression, qui ne comportent pas de pièces tournantes, supprime bien sûr bon nombre des défauts de fonctionnement cités ci-dessus.

2.3. Passage de particules incandescentes

De telles particules peuvent provenir du brûleur pour les tours à chauffage direct : un entretien régulier de ce brûleur doit permettre d'éviter leur formation; de plus, il faut aspirer l'air de combustion et de mélange dans une zone exempte de poussières.

C'est pour cette raison que le dégagement de poussières provenant des silos et des points d'ensachage n'est pas acceptable. Ces installations ne doivent pas se trouver dans le bâtiment de la tour d'atomisation, sauf à être munies de dispositifs de dépoussiérage capotés avec évacuation d'air à l'extérieur.

L'air, dans tous les cas, doit être filtré par des filtres efficaces et maintenus en bon état de marche.

Avant le remontage des filtres huilés, on doit assurer un bon égouttage pour éviter l'introduction de gouttelettes d'huile dans le système de chauffage.

Si, malgré tout, il se produit un encrassement de la batterie de chauffe ou de l'échangeur, un nettoyage est nécessaire dès qu'on s'en aperçoit.

2.4. Etincelles

Les étincelles peuvent être produites électriquement, électrostatiquement ou par friction. La détermination des énergies d'inflammation dans l'air avec l'inflammeur Hartmann utilisé au Cerchar a montré que les échantillons les plus facilement inflammables étaient ceux des laits réengraissés (= 50 millijoules); le lait entier, le lait écrémé, les sérums réengraissés ne s'enflammaient, eux, que pour des énergies comprises entre 360 et 810 millijoules; par contre, les lactosérums ne s'enflammaient pas dans l'air pour l'énergie maximale utilisable, soit 1.200 millijoules. Soulignons néanmoins que les échantillons de lait entier et les lactosérums se soulèvent difficilement dans l'appareil d'essai, ce qui peut conduire à fausser les résultats.

Pour éviter les risques d'inflammation par étincelle d'origine électrique, il est donc nécessaire, dans les zones où de la poudre est présente en nuage et/ou en dépôts, d'utiliser du matériel électrique de sécurité vis-à-vis des poussières. Le matériel le plus convenable est celui d'une catégorie au moins égale à IP 55 (étanche à l'eau et aux poussières fines) ou du matériel protégé par surpression interne; dans les deux cas, il doit avoir une bonne résistance mécanique. De plus, la température maximale des parois des appareils électriques doit être limitée dans les mêmes conditions que pour la tour d'atomisation.

Pour réduire les risques d'inflammation par étincelle d'origine électrostatique, il faut assurer des liaisons équipotentielles entre les différentes pièces métalliques et relier l'ensemble à une terre convenable (attention en particulier aux pièces métalliques isolées par des joints ou raccord en caoutchouc ou matériaux isolants).

2.5. Autres sources d'inflammation

L'introduction de flamme nue dans les appareils et zones où sont manipulées les poussières, doit, bien sûr, être rigoureusement interdite. On ne doit pas permettre d'y fumer.

Les travaux de soudure ne doivent être entrepris qu'après arrêt et nettoyage complet de l'appareil où s'effectue la soudure et à proximité de celle-ci. On suivra les prescriptions données dans le permis de feu et les consignes de sécurité.

3. MESURES DE PREVENTION LIEES AU MATERIEL ET AUX PRODUITS TRAITES

Au total, la spécialisation d'une tour pour

une fabrication donnée est la solution préférable; on peut ainsi régler au mieux les températures de séchage et les conditions de fonctionnement de la tour. Le changement de fabrication devrait être le moins fréquent possible. S'il est nécessaire, il est bien sûr indispensable d'effectuer les réglages convenables (choix des températures, dispositifs d'atomisation) avant le démarrage de l'installation. En particulier, la capacité de la turbine doit être adaptée au produit à sécher, une suralimentation pouvant entraîner un débordement.

Un point important concerne le contrôle et l'enregistrement des températures de l'atmosphère à l'entrée et à la sortie des tours avec alarme en cas de dépassement d'une valeur donnée de température.

Toutefois, en cas de chauffage à la vapeur, l'enregistrement et l'alarme concernant la température d'entrée ne sont pas indispensables.

Il faut s'assurer de la validité des mesures de température et de leur fiabilité au cours du temps.

La régulation automatique du fonctionnement de la tour est préférable car on évite les interventions intempestives de l'opérateur. Des consignes précises d'exploitation doivent dans tous les cas être prévues, et tout particulièrement pour la marche manuelle. On devra insister spécialement sur les risques d'inflammation au démarrage ou à l'arrêt, en raison d'élévations de température importantes et rapides dans les tours.

Signalons encore que les chambres d'atomisation, conçues avec une gaine d'arrivée d'air à contre-courant du jet de concentré, sont indéniablement à l'origine de nombreuses inflammations de dépôt de poussières venant se coller sur le disperseur d'air central placé au sommet de cette gaine portée à 170-220°C. Un tel mode de réalisation d'une gaine d'arrivée d'air à contre-courant est, bien sûr, à proscrire pour les nouvelles installations.

Les vibro-fluidiseurs, où des quantités importantes de poussières (de l'ordre de 1 tonne) sont présentes, constituent des appareils particulièrement menacés de destruction en cas d'incendie (ainsi que des incidents récents l'ont montré), d'autant plus que l'injection d'air sous la grille de fluidisation contribue à attiser l'incendie. Une surveillance toute particulière doit être exercée à ce niveau prévoyant au moins une détection de température sur la sortie d'air.

4. MAINTENANCE ET FORMATION DU PERSONNEL

Les mesures que nous venons d'indiquer nécessitent l'utilisation importante de détecteurs et de dispositifs de relais et d'asservissement.

Tous ces dispositifs doivent, bien sûr, conduire à des indications valables et fiables.

L'entretien et la vérification régulière de ces matériels (fréquence au moins tous les six mois, ou dès qu'une panne importante est décelée) sont absolument indispensables.

Du fait de la complexité et de l'automatisation poussée des matériels utilisés pour le séchage des poudres de lait, le personnel doit avoir reçu une formation adéquate.

IV. PROTECTION CONTRE L'INCENDIE ET L'EXPLOSION DE POUDRE DE LAIT ET DE SES DERIVES

Malgré toutes les mesures de prévention décrites dans le paragraphe précédent, l'incendie ou l'explosion peut se produire par conjonction de plusieurs facteurs défavorables.

Des consignes précises doivent avoir été établies pour prévoir l'ordre des opérations à entreprendre lors d'un sinistre. Si, pour l'incendie, on peut utiliser à la fois des moyens de lutte automatiques et manuels, il en va tout autrement pour l'explosion; du fait de la rapidité du phénomène, quelques secondes au maximum, tous les moyens d'atténuer les effets de l'explosion doivent être prévus et installés au préalable. Nous ne décrivons ici que la protection par événements d'explosion.

1. PROTECTION CONTRE L'INCENDIE DE POUDRE DE LAIT ET DE SES DERIVES

C'est la rapidité de l'action contre l'incendie qui permet de le maîtriser facilement.

Pour ce faire, il faut :

- . être averti dans les meilleurs délais de l'apparition d'un incendie : c'est un problème de détection,

- . avoir des moyens de lutte suffisants, à déclenchement automatique ou manuel,

- . disposer de personnel formé pour la lutte contre l'incendie et capable d'appliquer les consignes préalablement établies.

- Détection

Bien souvent c'est le personnel qui détecte l'incendie alors que le développement du feu est déjà important.

Les détecteurs de température seront d'autant plus utiles en cas d'incendie que leur délai de réponse sera court : des sondes à résistance de platine placées dans un doigt de gant d'un diamètre inférieur à 5 mm et entourant la partie active peuvent convenir. De telles sondes ont été utilisées pour la mesure des températures d'entrée et de sortie d'air avec un dispositif de contrôle et d'alarme étudié par le Cerchar pour des tours d'atomisations classiques. Des détecteurs doivent au moins être placés sur les échappements d'air de la tour et les vibro-fluidiseurs.

Bien sûr, si le personnel détecte la présence de particules brunes ou noires ou une odeur de brûlé, il doit arrêter l'installation et rechercher les causes de cette situation anormale.

- Lutte contre l'incendie de poudre de lait et de ses dérivés

La détection peut conduire simplement à une alarme (le personnel a le choix de la possibilité de mise en oeuvre des moyens d'extinction) ou déclencher automatiquement l'extinction.

A l'heure actuelle, l'un ou l'autre système existe sur les tours. Dans tous les cas, il est indispensable qu'un déclenchement manuel existe au moins au voisinage d'une des portes de sortie d'urgence, ainsi qu'à proximité du/ou des vibro-fluidiseurs et qu'auprès du tableau de contrôle et de commande.

Des dispositifs d'injection d'agent extincuteur peuvent être installés au toit de la tour. Dans tous les cas, on doit prévoir d'injecter l'agent extincuteur au moins dans les vibro-fluidiseurs.

L'agent extincuteur utilisé le plus fréquemment est l'eau qui peut être pulvérisée en gouttelettes ou être projetée sous forme de lame d'eau sur les parois de la tour. Le gaz carbonique est utilisé dans quelques cas.

A l'heure actuelle, il n'est pas possible de savoir quel est le plus efficace de ces agents extincteurs. Dans tous les cas, il faut éviter le bouchage par la poudre des buses d'injection.

Si on utilise l'eau, il faut pouvoir assurer par des dispositifs fixes un débit suffisant dans la chambre et les vibro-fluidiseurs; l'eau sera répartie sur les parois (lames d'eau) et dans l'atmosphère de la tour par pulvérisation.

Pour les tours d'un diamètre supérieur à 8,4 m, l'ordre de grandeur du débit à prévoir sera d'au moins 10 litres/s.

Ceci permettra de mouiller abondamment les parois en quelques minutes.

Des essais ont montré la difficulté de l'extinction de la combustion des couches de lait déposées sur les parois; mais l'arrosage abondant des parois permet d'éviter une déformation de la tour par suite de l'effet de la chaleur.

Lors d'un incendie, la première mesure à prendre sera d'arrêter l'ensemble de l'installation de séchage concernée et ses annexes par un interrupteur général - type coup de poing -. Si possible, une remise en route de la turbine avec fonctionnement à l'eau sera effectuée.

Pour éteindre complètement l'incendie, il peut être nécessaire d'intervenir manuellement à la lance d'incendie. Il faut savoir que lors de l'ouverture, pour cette opération, des portes ou trappes, un appel d'air se produira susceptible d'attiser l'incendie, voire de déclencher la chute de poussières des parois et donc l'explosion.

Il faudra prévoir au minimum un robinet d'incendie armé au voisinage d'une des portes de visites de la tour et à mi-hauteur de la virole.

Il faut, dans toute la mesure du possible, éviter les entrées d'air dans la tour et ses annexes, ce qui doit se traduire au moins par l'arrêt de la ventilation des tours et des vibro-fluidiseurs. La fermeture des registres doit aussi être faite.

Enfin, pour éviter l'extension des dégâts dus à l'incendie, les stockages de poudres de lait devraient être faits dans les bâtiments séparés et, au moins, dans des locaux séparés de l'atelier où est située la tour. Si cela est possible, le fonctionnement de vannes d'isolement entre les appareils sera aussi de nature à éviter la propagation de l'incendie.

2. PROTECTION PAR EVENTS CONTRE LES EFFETS DES EXPLOSIONS DE NUAGES DE POUSSIÈRES

Des moyens de protection doivent être mis en place de façon à pouvoir agir au moment de l'explosion et ont pour objectif d'abaisser les pressions dans l'installation à des valeurs inférieures à celles que peuvent supporter la tour d'atomisation et ses annexes et le bâtiment dans lequel sont situés ces appareils.

Comme moyen de protection, on adopte généralement, à l'heure actuelle, les événements d'explosion : orifices dans une paroi d'un appareil ou d'un bâtiment par lesquels les gaz d'explosion peuvent s'échapper. Ces orifices sont fermés par des dispositifs qui s'ouvrent pour une surpression relativement faible.

A partir des courbes de variation de la pression au cours du temps (fig. 17), obtenues en chambre allongée fermée de 1 m³ (4), nous avons déterminé la surpression maximale d'explosion - P_{max} - et la vitesse maximale de montée en pression - R_m - ; c'est cette dernière valeur qui permet de qualifier la violence de l'explosion. Ces caractéristiques, pour la concentration du nuage de poussières qui conduit aux valeurs les plus élevées (fig. 18), sont consignées dans le tableau IV.

TABLEAU IV.

Type de produit	Valeurs les plus élevées	
	P _{max} bar	R _m bar/s
Lait entier	7,9 (8,45)*	141 (88)*
Lait réengraissé à 40 % MG	7,70	99,5
Lait réengraissé à 37 % MG	8,35	84
Sérum réengraissé à 25 % MG	7,3	79
Sérum réengraissé à 30 % MG	7,3	55
Lait écrémé	7,35	76
Lactosérum	8,1**	51,5**
Lactosérum acide	1,75**	4,6**
Lactosérum doux	6,5**	37,5**
Lait à 38 % MG		
. 53 % < 180 μm (installation classique)	7,1	123
. 12 % < 180 μm (installation multiple effet)	6,8	65

* Pour un 2^{ème} arrivage, utilisé pour tous les essais en chambre de 100 m³

** Produits hygroscopiques difficiles à disperser

Pour déterminer expérimentalement les surfaces d'évent nécessaires pour protéger les tours d'atomisation, nous avons ensuite entrepris, avec la poudre de lait entier qui conduisait aux explosions les plus violentes, des essais en chambre de 100 m³ (fig. 19) munie d'évents de différentes surfaces. Les courbes obtenues (fig. 20) correspondent à deux cas différents : a) la poussière remplit initialement tout le volume de la chambre à une concentration moyenne de 250 g/m³, b) la poussière ne remplit initialement que le quart du volume total, soit une concentration moyenne de

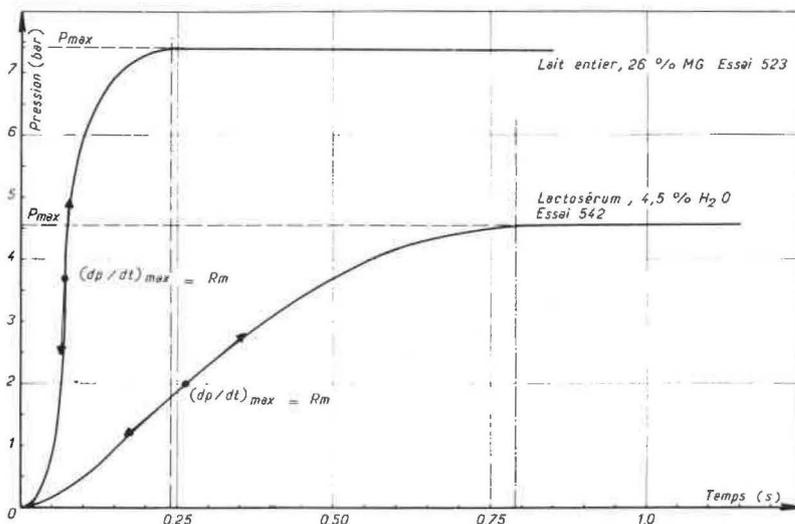


Fig. 17 : Courbes d'évolution de la pression au cours de l'explosion en chambre de 1 m³ fermée (C = 250 g/m³)

62,5 g/m³. Les surfaces déterminées dans le premier cas permettent de protéger une chambre de 100 m³ contre toutes les explosions susceptibles de survenir. Les surfaces S déterminées dans le second cas sont les surfaces minimales qu'il nous paraît nécessaire d'installer sur une tour d'atomisation de 100 m³. Pour des volumes V plus élevés, on extrapolera ces résultats en utilisant la loi cubique (4).

$$S = k V^{2/3}$$

- Protection de la chambre d'atomisation

Pour réaliser pratiquement ces événements, on peut utiliser la (les) porte(s) de visite des tours à condition qu'elle(s) ai(en)t une pression d'ouverture bien plus faible que la pression que peut supporter la chambre. Des orifices d'évent spécialement prévus peuvent être installés sur le toit de la chambre. Là aussi, la fermeture de ces orifices doit être réalisée par des dispositifs qu'il ne faudra pas surcharger et qui soient capables de s'ouvrir pour une surpression nettement plus faible que la pression que peut supporter la chambre. La fermeture de ces orifices peut être réalisée au moyen de membranes ou de clapets mobiles.

Les événements, quels qu'ils soient, doivent déboucher dans une direction non dangereuse pour le personnel et le matériel avoisinant et, si possible, à l'extérieur de l'atelier.

En marche normale, il sera interdit de stationner et de circuler à proximité immédiate des événements ou des portes de visite. Pour cela, les zones de passage dangereuses devraient être signalées à la peinture.

- Protection des annexes de la chambre d'atomisation

Bien qu'à notre connaissance, des dégâts d'explosion n'aient pas été constatés dans les vibro-fluidiseurs, les canalisations de transport pneumatique, les cyclones et les capacités de stockage, des explosions sont possibles dans ces appareils.

Une étude de sécurité pourrait conduire à installer des événements sur les cyclones et les capacités de stockage : on devrait alors adopter les mêmes données que pour la chambre d'atomisation.

- Protection des bâtiments

Il faut faire en sorte que les bâtiments soient exempts de poussières.

Des effets de souffle d'explosion peuvent cependant se faire sentir du fait de l'échappement de gaz d'explosion dans l'atelier si les événements ne peuvent déboucher à l'extérieur. Le bâtiment contenant la ou les tours d'atomisation doit posséder au moins une paroi affaiblie, par exemple, réalisée sous forme de bardage léger, si possible incombustible.

La surface à installer dépend bien sûr de l'importance respective du volume total de l'atelier. On devra, de préférence, placer les parois affaiblies face aux points où débouchent les événements des appareils et leur donner au total au moins une surface double de celle des événements placés sur les appareils.

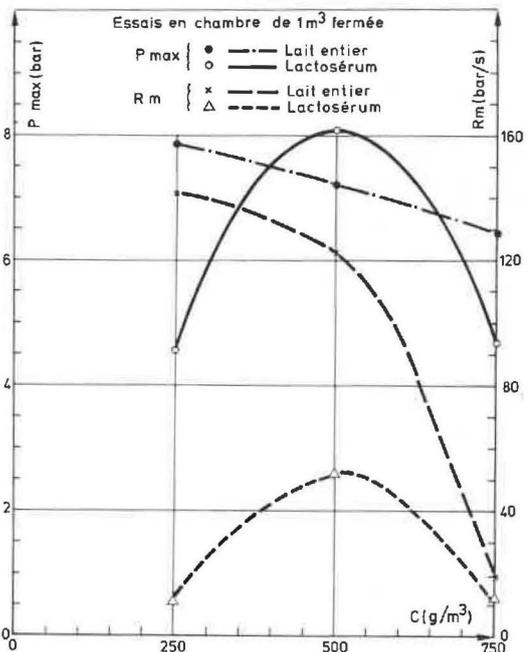
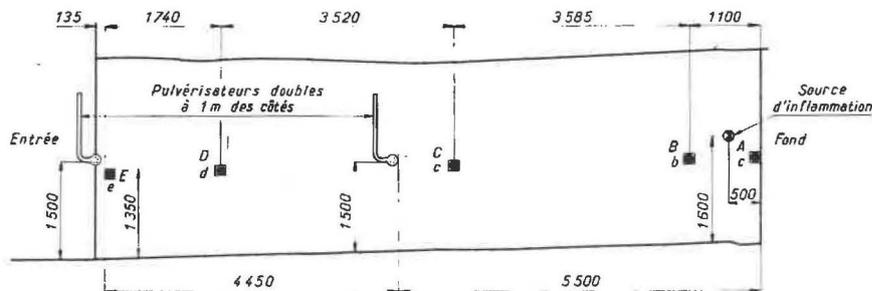


Fig. 18 : Surpression maximale d'explosion - P_{max} - et vitesse maximale de montée en pression - R_m - en fonction de la concentration du nuage de poussières - C -



A B C D E Capteurs de pression
a b c d e Capteurs de flamme
● Source d'inflammation

Nota : Les cotes sont exprimées en millimètres

Fig. 19 : Chambre d'explosion de 100 m³
Chambre creusée dans une falaise de calcaire, section 3 m x 3 m
Events à l'entrée de la chambre, à l'opposé de la source d'inflammation

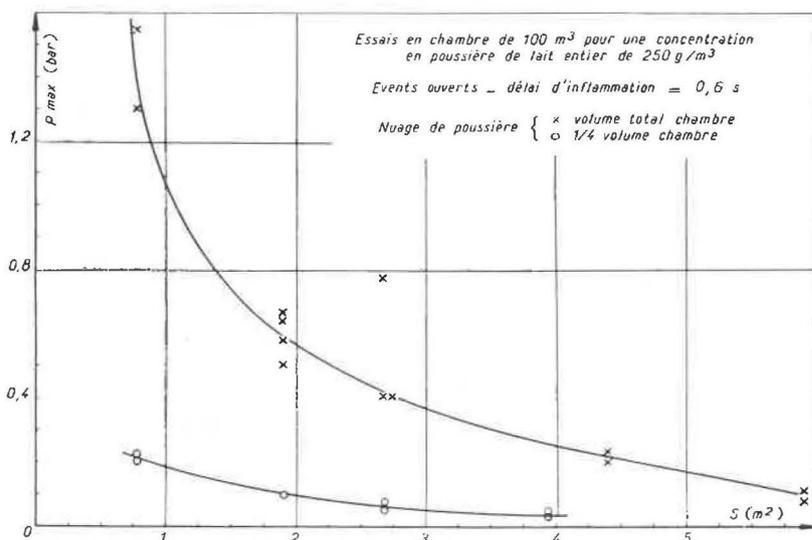


Fig. 20 : Surpression maximale d'expression P_{max} en fonction de la surface d'événement - S -

V. CONCLUSIONS

L'application systématique d'un certain nombre de mesures de prévention : limitation des dépôts de poussières et des causes d'inflammation, mesures de prévention liées à la conception du matériel et aux produits traités, politique de maintenance et formation du personnel, devrait permettre une réduction notable du nombre des sinistres et une limitation de leurs conséquences.

Une attention toute particulière doit être accordée à l'auto-inflammation des couches de poudre. L'étude menée a notamment mis en évidence la complexité des réactions mises en jeu et l'influence importante de la nature des produits traités.

Les moyens de protection proposés (détection et lutte contre l'incendie, protection contre les effets de l'explosion par évènements de décharge) nécessitent d'être bien adaptés au type d'installation à protéger et, notamment pour l'explosion, doivent tenir compte de la nature du produit traité.

L'évolution des techniques peut éventuellement introduire de nouveaux risques qu'il est nécessaire d'analyser cas par cas.

Etant donné qu'il est important de déceler les phénomènes précédant ou accompagnant l'incendie, l'utilisation de systèmes de détection incendie est très souhaitable. La simplicité, la robustesse et la fiabilité de fonctionnement de tels dispositifs sont les points particulièrement visés.

Note

Nous remercions la Caisse Centrale des Mutuelles Agricoles (France) qui a financé cette étude et nous a autorisés à en publier les résultats. Nos remerciements vont en particulier aux personnes du Département Prévention Rurale de cet organisme, de la Société Niro Atomizer France et des coopératives laitières pour les fructueuses discussions que nous avons eues. Nos remerciements vont aussi à Melle Prégermain et à M. Michot du Centre d'Etudes et Recherches de Charbonnages de France qui ont réalisé la partie de cette étude consacrée à l'auto-inflammation.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) J. PISECKY. Les causes des incendies et explosions dans les tours d'atomisation. Traduction Niro Atomizer France.
- (2) T.C. DUANE, E.C. SYNNOT. Effect of some physical properties of milk powders on minimum ignition temperature. I. Chem. E. Symposium series n° 68 (1981).
- (3) G.P. SAPRYGIN, Ja.S. KISELEV. Influence des matières grasses sur l'inflammation spontanée des produits laitiers séchés. Molocnaja Promyslemnost (1960), 29, n° 9, p. 23-25.
- (4) J. PINEAU, M. GILTAIRE, J. DANGREAU. Emploi des évènements pour la protection contre les explosions de poussières. Colloque sur la Sécurité dans l'Industrie Chimique. Mulhouse, 27-29 septembre 1978, p. 90-110.