



Électricité statique

*Risques
d'inflammation
et mesures de
protection*



suva

Caisse nationale suisse
d'assurance en cas
d'accidents
Case postale 4358
CH-6002 Lucerne
Suisse

2002
ISBN 92-843-1099-7
ISSN 1015-8022

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

ED 4109



L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DE LA SÉCURITÉ SOCIALE (AISS)

compte plus de 300 membres (services gouvernementaux et institutions) représentant plus de 120 pays ; plus de la moitié de ces membres s'occupent de prévention des risques professionnels. L'AISS a son siège à Genève, au Bureau international du travail. Son but principal est de promouvoir et de développer la sécurité sociale dans toutes les parties du monde.

Afin d'intensifier les actions de prévention dans les entreprises de l'industrie chimique (y compris les industries des matières plastiques, des explosifs, du pétrole et du caoutchouc, un comité spécialisé, le



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS POUR LA PRÉVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS DANS L'INDUSTRIE CHIMIQUE

a été constitué en 1970. La présidence et le secrétariat de ce Comité sont assurés par la Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie (Caisse d'assurance accident de l'industrie chimique), dont le siège est à Heidelberg (Allemagne).

Créé en 1975, le



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS POUR LA SÉCURITÉ DES MACHINES ET SYSTÈMES

prend en charge les problèmes de prévention des risques professionnels liés aux machines, aux installations et aux systèmes. La présidence et le secrétariat de ce Comité sont assurés par la Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten (Caisse d'assurance accident Alimentation-restauration), dont le siège est à Mannheim (Allemagne).

Électricité statique

Risques d'inflammation et mesures de protection

Guide pratique

2^e édition, 2002

Publication du

Comité international de l'AISS
pour la prévention des risques
professionnels dans l'industrie chimique
Kurfürsten Anlage 62
D-69115 Heidelberg
Allemagne

Avant-propos

Les comités spécialisés de l'Association internationale de la Sécurité sociale (AISS) ont reçu pour mission de contribuer, par des échanges d'expériences, des publications et des colloques, à l'étude et à la prévention des accidents du travail, des maladies professionnelles et, plus généralement, de l'ensemble des risques pris en charge par la Sécurité sociale.

Pour promouvoir les rencontres internationales entre spécialistes et permettre l'élaboration de solutions communes à un ensemble de problèmes spécifiques, le Bureau du Comité Chimie de l'AISS a mis en place un groupe de travail Protection contre les explosions. Il entend ainsi contribuer à l'harmonisation technique entre pays industrialisés, ainsi qu'au transfert de compétence en direction des pays en développement.

Ce guide, réalisé en étroite collaboration avec le Comité AISS Sécurité des machines, doit permettre à des concepteurs, chefs d'entreprise, préventeurs, etc., non spécialisés dans le domaine de l'électricité statique d'évaluer les risques d'inflammation dus à l'électricité statique dans l'entreprise ou lors de la conception, de l'équipement et de l'implantation d'installations. Ce guide ne constitue pas une aide à la décision, car les différences entre réglementations nationales ne permettent pas de formuler des recommandations précises pour le choix des mesures de prévention. L'accent est mis sur les problèmes posés et sur les solutions de principe applicables.



Dr E. Radek
Président du Bureau
du Comité Chimie

Collaborateurs et auteurs

Présidence

Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accident (Suva)
R. J. Ott

Avec la collaboration de

Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA), Vienne	(A)
Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, Heidelberg	(D)
Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten (BGN), Mannheim	(D)
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA), St. Augustin	(D)
Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accident (Suva), Lucerne	(CH)
Institut de Sécurité, Bâle	(CH)
Directoraat-Generaal van de Arbeid, La Haye	(NL)
Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Paris	(F)
Pellmont Explosionsschutz, Binningen/Bâle	(CH)
Stazione Sperimentale per i Combustibili (SSC), San Donato Milanese/Milan	(I)
Stichting Sereb, Geldermalsen	(NL)

Auteurs

H. Beck, St. Augustin	(D)	G. Pellmont, Binningen/Bâle	(CH)
A. Fiumara, Milan	(I)	J.-M. Petit, Paris	(F)
M. Glor, Bâle	(CH)	S. Radandt, Mannheim	(D)
K. Isselhard, Heidelberg	(D)	H. Rainbauer, Vienne	(A)
J. P. M. M. Meissen, Geldermalsen	(NL)	L. Rossinelli, Lucerne	(CH)
R. J. Ott, Lucerne	(CH)	F. Scheller, Lucerne	(CH)
P. C. Parlevliet, La Haye	(NL)		

Conception et graphisme

M. Glor, Bâle (CH)
R. J. Ott, Lucerne (CH)
D. Settele, Mannheim (D)

Traduction en français

J. Jolly, J. C. Morain, M. Bloch (INRS), Paris (F)

Sommaire

Risque d'explosion et électrisation : aperçu général	8
Origine des charges électrostatiques	16
Accumulation et écoulement des charges	20
Types de décharge et pouvoir d'inflammation	26
Mesures de prévention des risques d'inflammation dus à une électrisation	46
Manipulation des gaz et liquides inflammables	51
Manipulation des suspensions et émulsions de liquides inflammables	60
Manipulation des produits en vrac combustibles en l'absence de gaz ou de vapeurs inflammables	62
Manipulation de produits en vrac contenant des solvants inflammables	66
Bibliographie	68
Index	69
Publications de l'AISS relatives à la protection contre les explosions	73

Risques d'explosion et électrisation : aperçu général

Quand y a-t-il risque d'explosion ?

Il peut y avoir risque d'explosion lorsque la production, le stockage ou la mise en œuvre de gaz, liquides ou poussières inflammables donnent lieu à la formation de mélanges explosibles air-gaz, air-vapeurs, air-brouillards (gouttelettes liquides) ou air-poussières (voir les brochures AISS «Explosions de gaz» et «Explosions de poussières»).

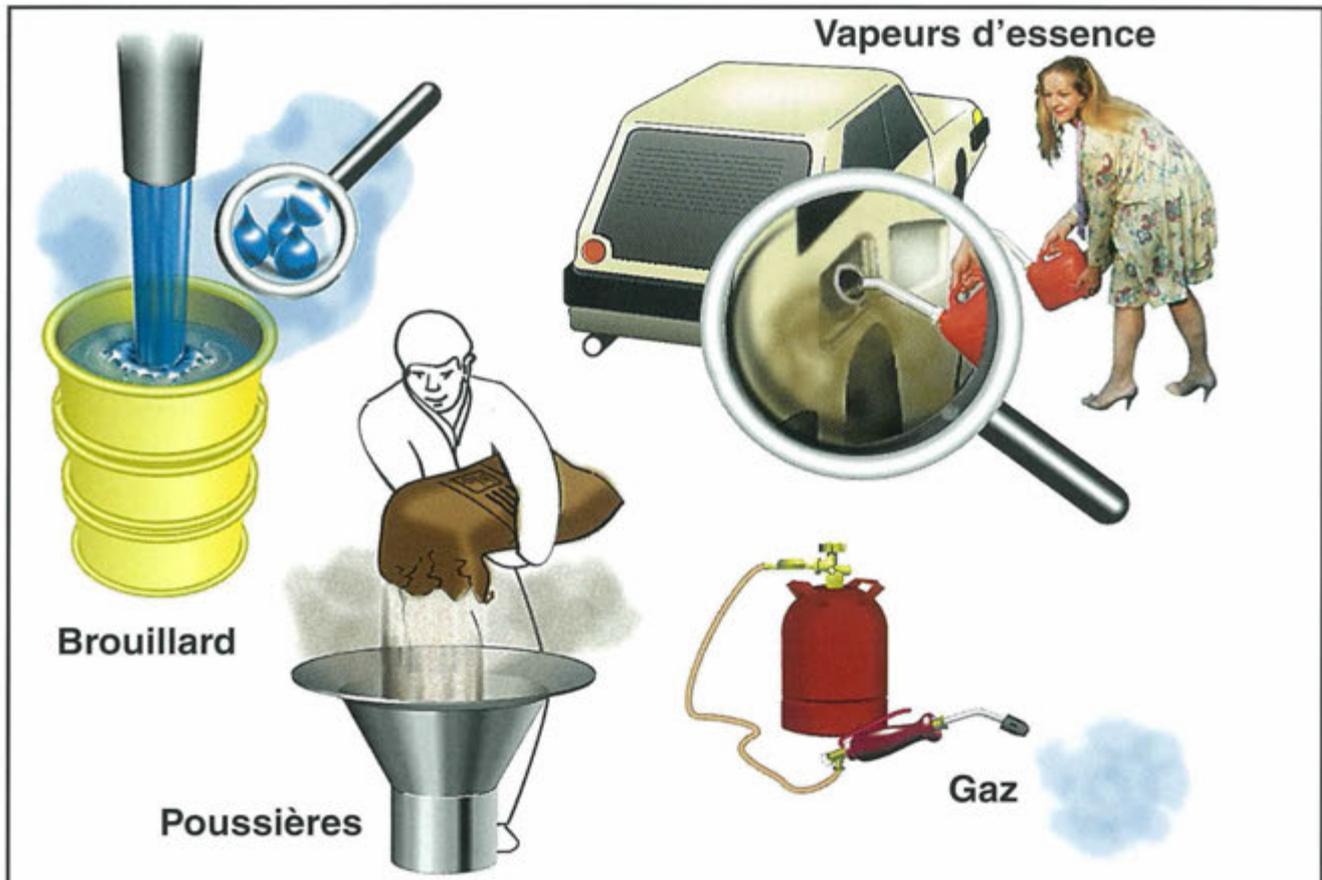


Figure 1: Exemples de dégagement de gaz, vapeurs, brouillards et poussières inflammables

Qu'est-ce qu'un mélange explosible ?

On parle de mélange explosible lorsque des gaz, vapeurs, brouillards ou poussières inflammables sont présents dans l'air en quantité telle qu'à la suite d'une inflammation, la flamme se propage spontanément (explosion).

Dans quelles conditions une explosion peut-elle survenir ?

Il peut se produire une explosion lorsque sont présents simultanément au même endroit :

- un combustible (gaz, vapeurs, brouillards ou poussières) en quantité suffisante et suffisamment dispersé,
- de l'oxygène en quantité suffisante pour entretenir la combustion (oxygène de l'air, généralement), et
- une source d'inflammation efficace.

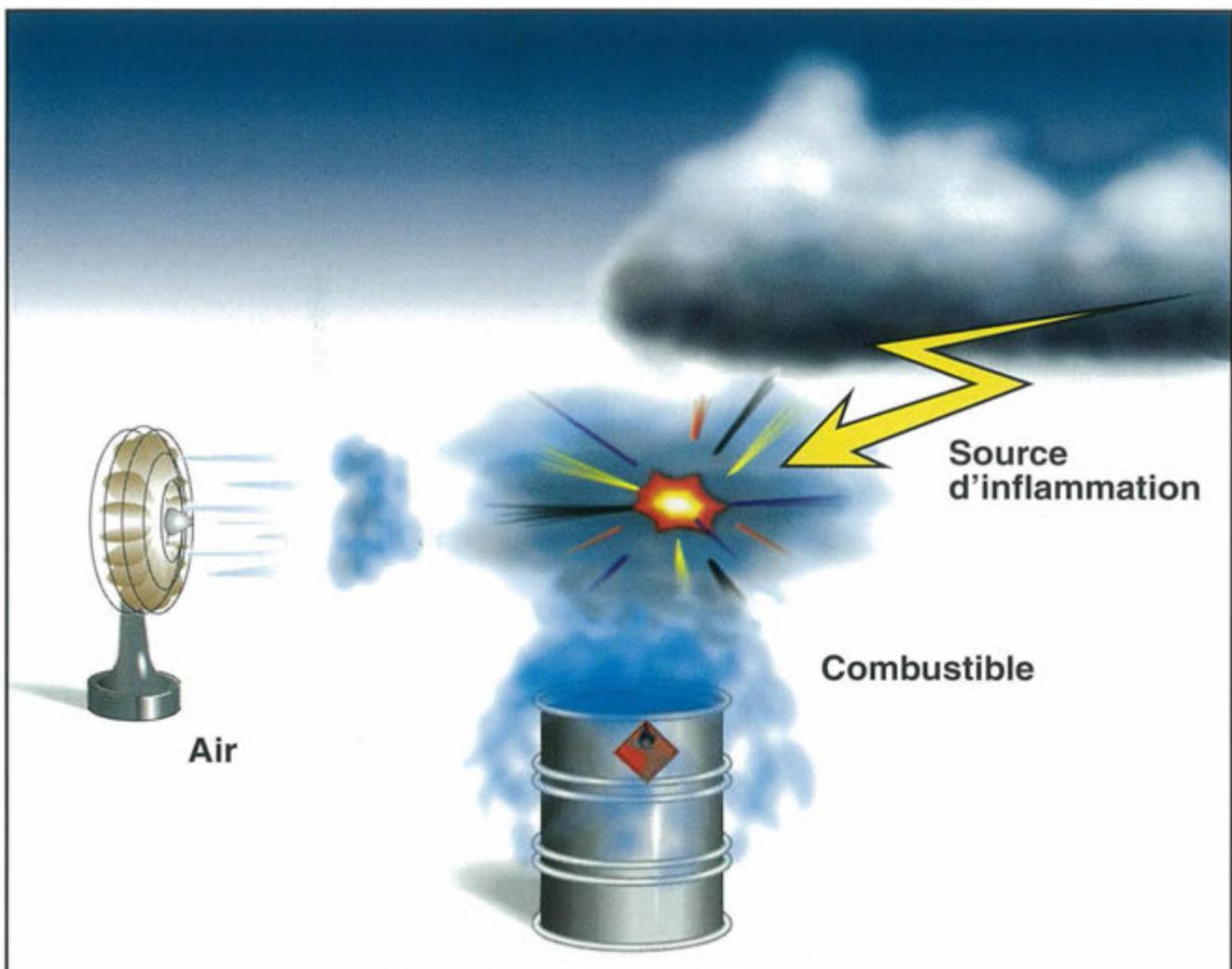


Figure 2: Conditions requises pour la survenue d'une explosion

Qu'est-ce qu'une source d'inflammation efficace ?

Il existe un grand nombre de sources d'inflammation (surfaces chaudes, feu, flammes, foyers d'incandescence, étincelles d'origine électrique ou mécanique, décharges d'électricité statique...), qui diffèrent notamment par leur énergie. Les mélanges explosibles ne présentent par ailleurs pas tous le même degré d'inflammabilité.

Les sources d'inflammation n'ont donc pas toutes une énergie suffisante pour enflammer tout type de mélange explosible. En d'autres termes, une source d'inflammation peut ne pas être efficace dans une situation donnée.

En règle générale, il faut disposer de données précises sur les sources d'inflammation pour apprécier le risque d'inflammation des mélanges explosibles susceptibles de se former.

On étudiera dans ce qui suit l'efficacité des décharges d'électricité statique comme source d'inflammation des mélanges explosibles.

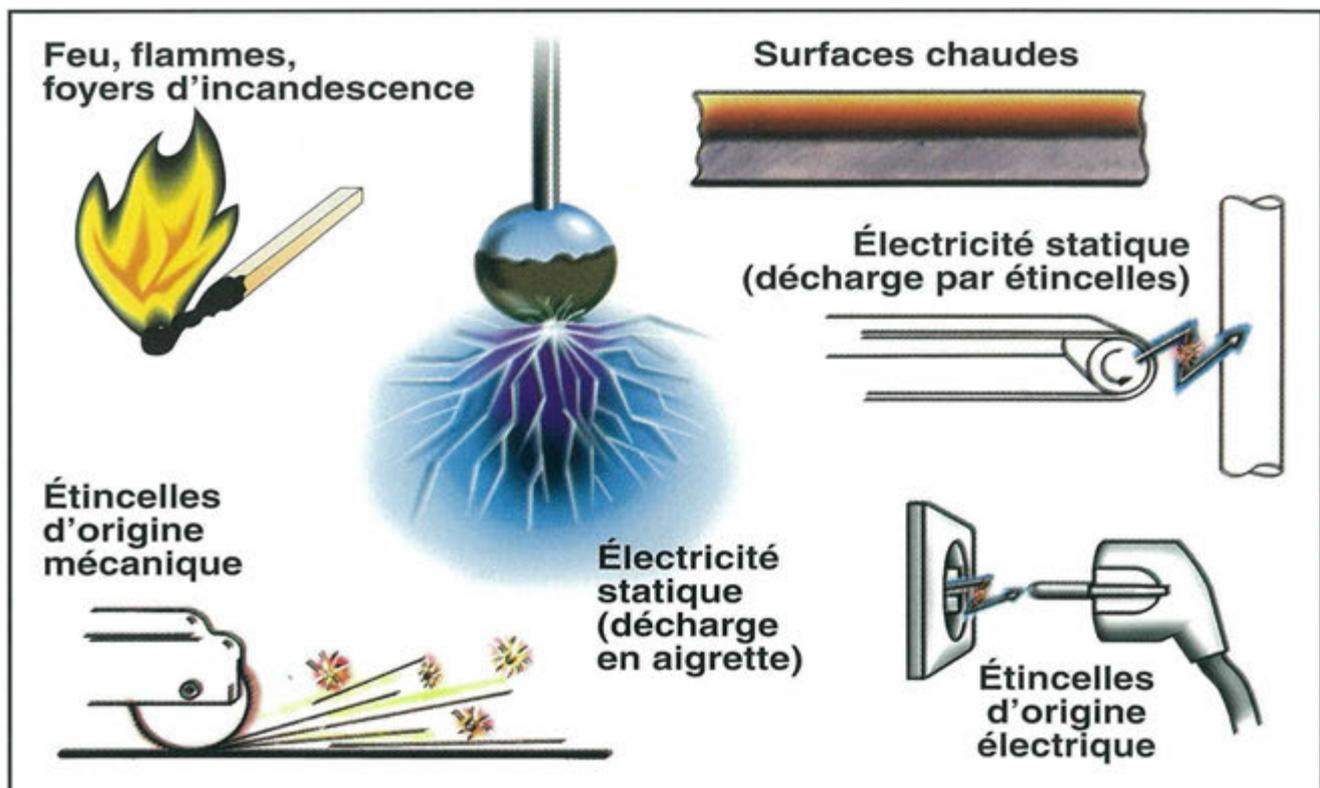


Figure 3: Exemples de sources d'inflammation

Quand l'électrisation constitue-t-elle un risque d'inflammation ?

Une électrisation ne présente pas nécessairement un risque d'inflammation. Pour que ce risque existe, il faut un niveau d'électrisation tel que l'intensité du champ électrique créé permette la survenue de décharges.

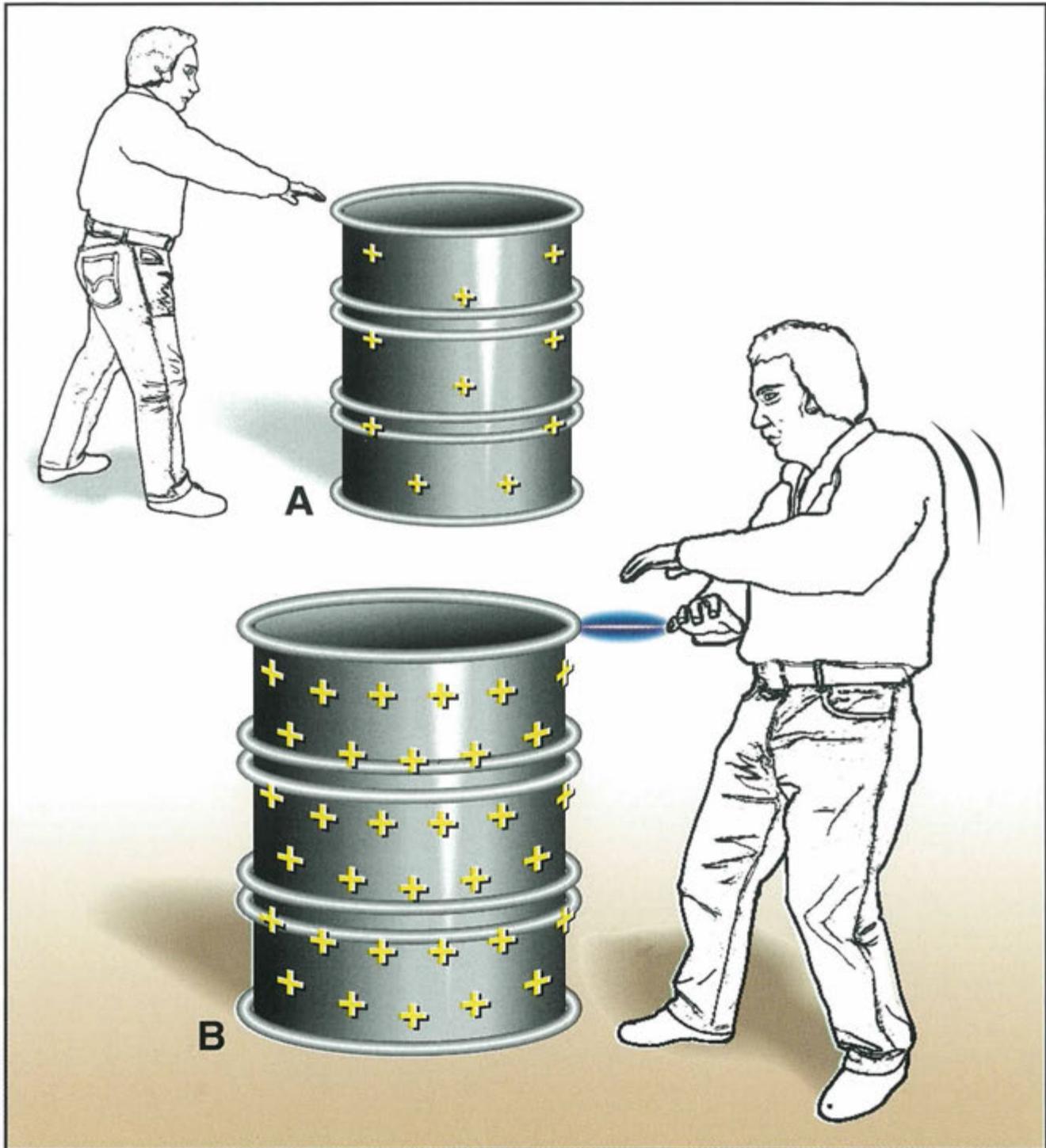


Figure 4: Accumulation de charges – A: Électrisation faible ⇨ pas d'étincelles de décharge – B: Électrisation forte ⇨ étincelles de décharge (risque d'inflammation)

Comment se produit une décharge d'électricité statique ?

Les étapes conduisant à l'apparition d'une décharge sont en fait toujours les mêmes :

- **Contact/séparation :** Des surfaces en contact (produits et parties d'installation, le plus souvent) se chargent au cours d'un processus de contact/séparation.
- **Accumulation de charges :** Les charges peuvent s'accumuler à la surface de produits, de parties d'installation, d'emballages, de personnes, etc.
- **Écoulement des charges :** Si une liaison à la terre est assurée, aux points d'accumulation des charges, par un conducteur de conductivité suffisante, les charges peuvent s'écouler à la terre et il ne se produit pas de décharge.
- **Décharge :** Si les charges formées par contact/séparation ne peuvent pas s'écouler à la terre, ou ne s'écoulent pas suffisamment vite, elles continuent à s'accumuler et une décharge se produit lorsque la valeur disruptive du champ électrique est atteinte.

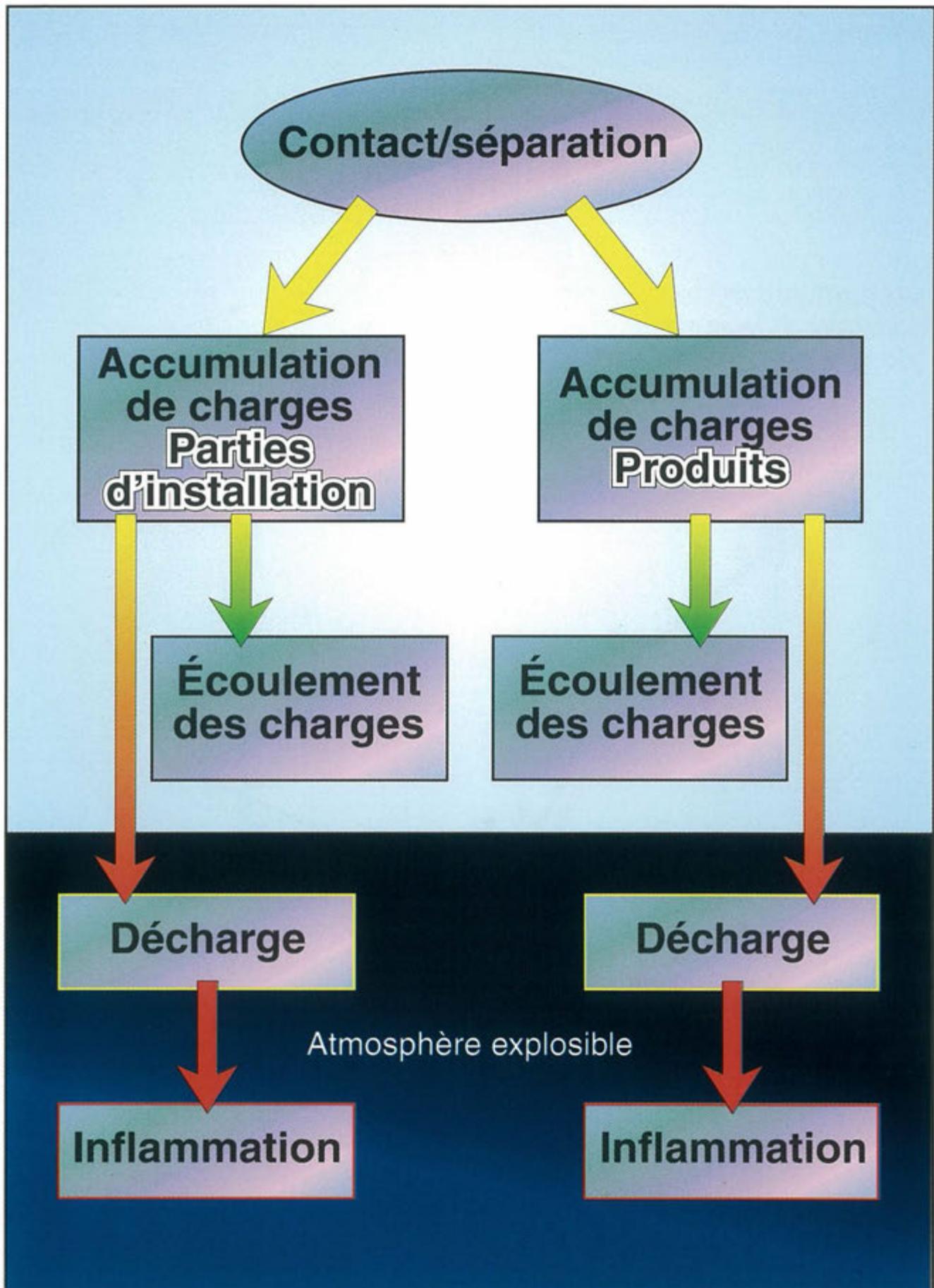


Figure 5: Schéma de principe de l'électricité statique : du processus de contact/séparation à l'inflammation possible d'une atmosphère explosible (explosion)

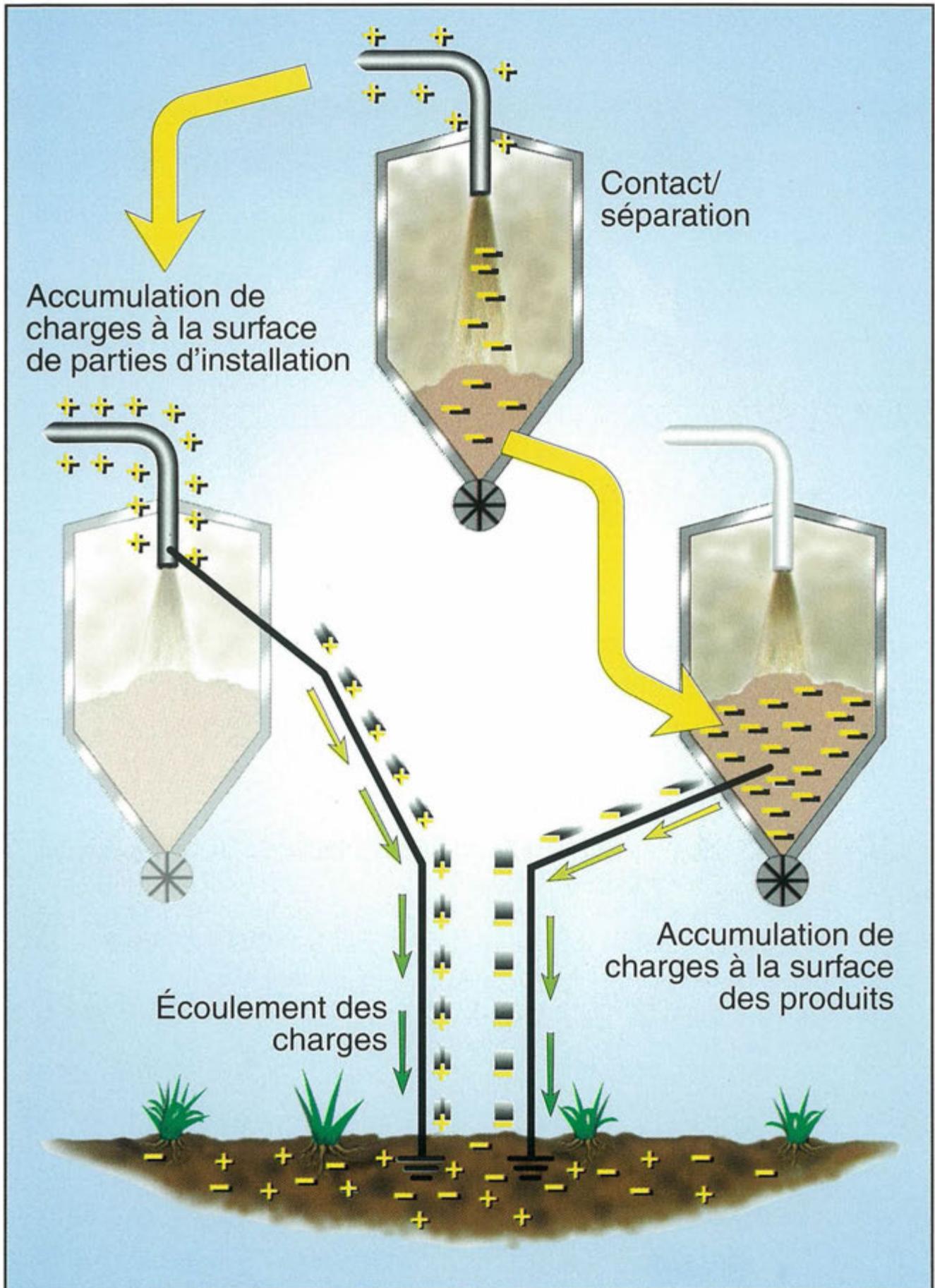


Figure 6: Schéma de principe de l'électricité statique : illustration des étapes de contact/séparation, accumulation de charges, écoulement des charges

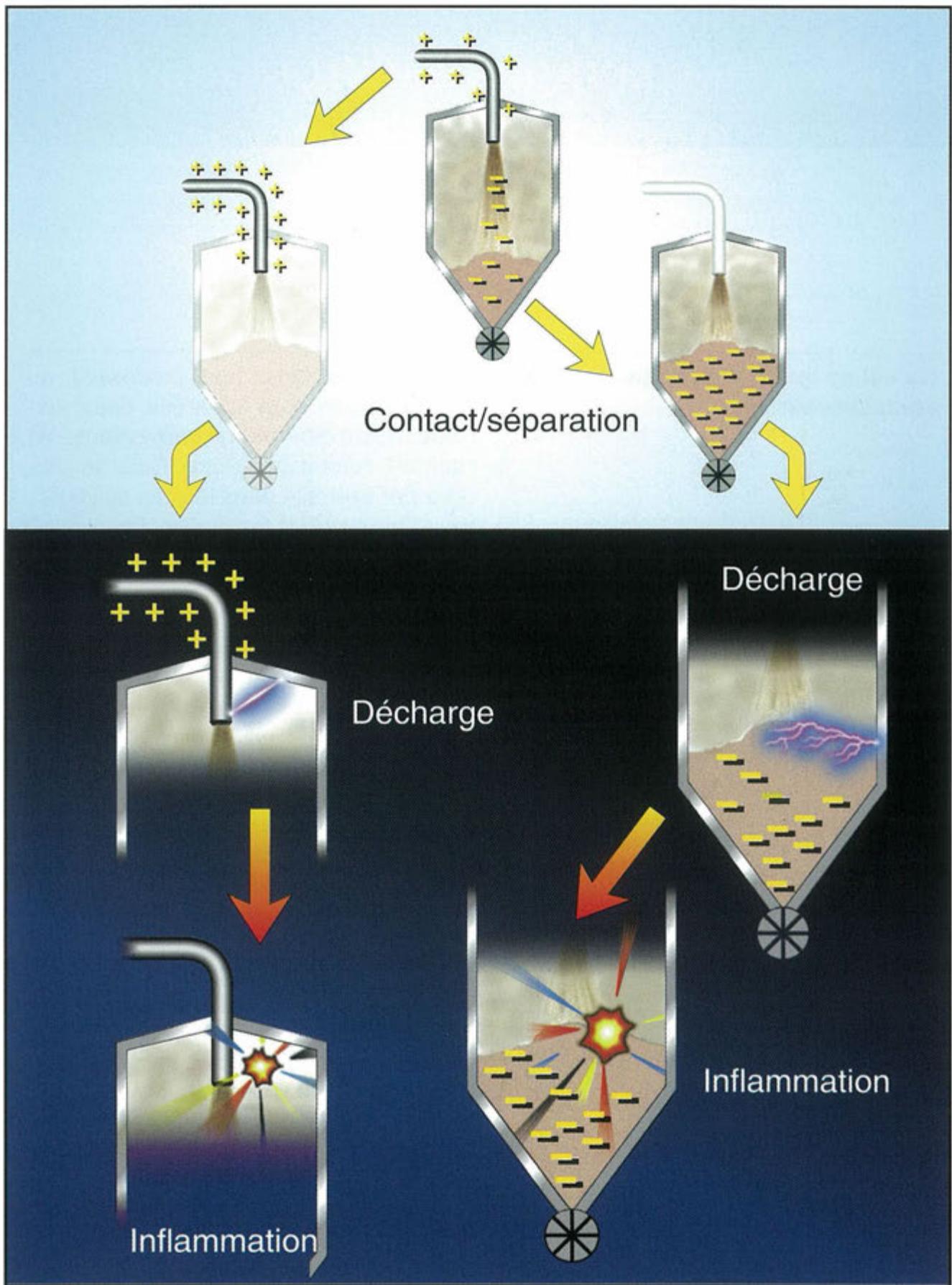


Figure 7: Schéma de principe de l'électricité statique: illustration des étapes de contact/séparation, accumulation de charges, décharge, inflammation d'une atmosphère explosible (explosion)

Origine des charges électrostatiques

Qu'est-ce qu'un processus de contact/séparation ?

On désigne ainsi tout processus au cours duquel sont séparées deux surfaces ayant été – même brièvement – en contact l'une avec l'autre. Cela se produit par exemple dans les cas suivants :

- transvasement de produits
- déplacement d'une personne sur un sol
- déroulement d'une feuille
- passage d'une bande transporteuse sur un galet de renvoi
- écoulement d'un liquide dans une canalisation
- filtrage d'une suspension
- projection à travers une buse ou pulvérisation d'un liquide
- vidage d'un sac ou d'un récipient contenant un produit en vrac
- transport pneumatique d'un produit en vrac dans une canalisation
- impact de particules sur la paroi d'un séparateur

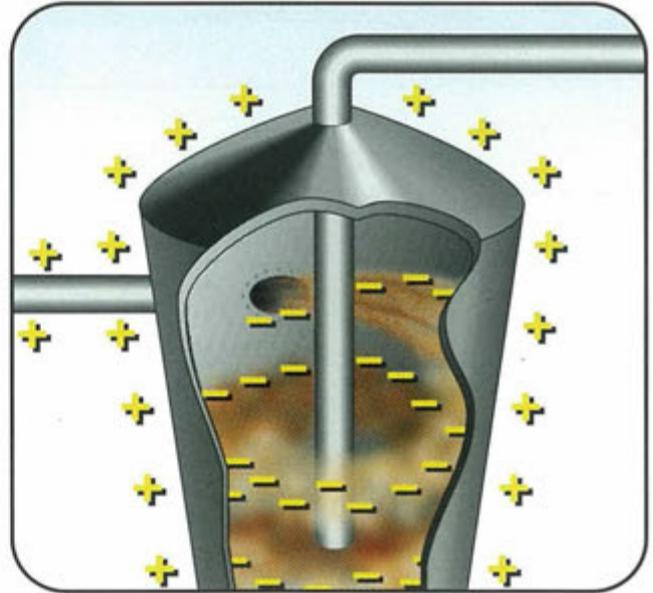
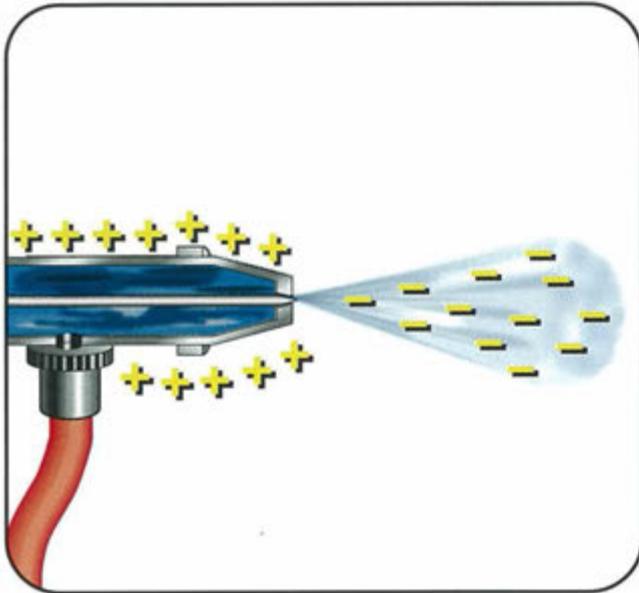
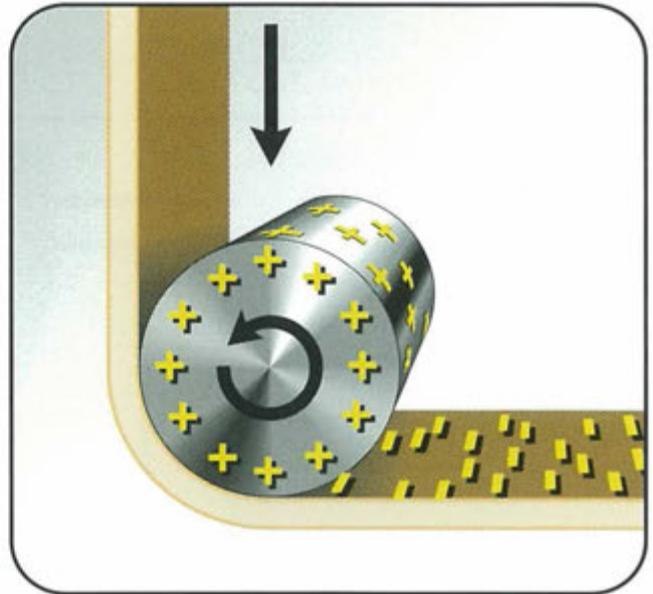
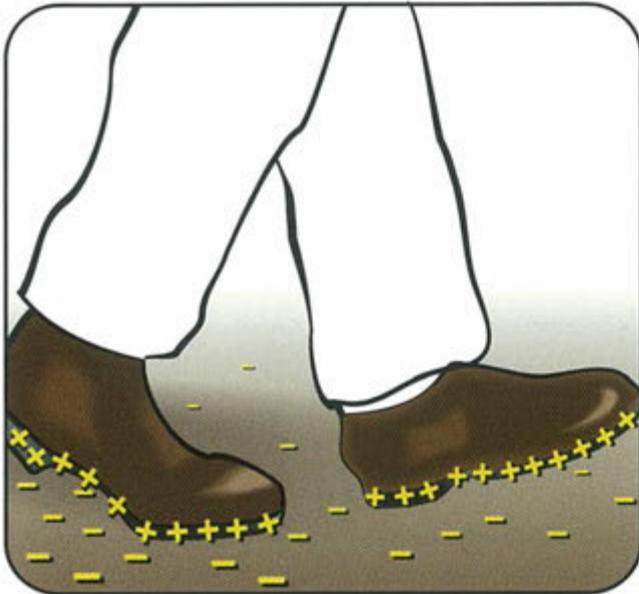
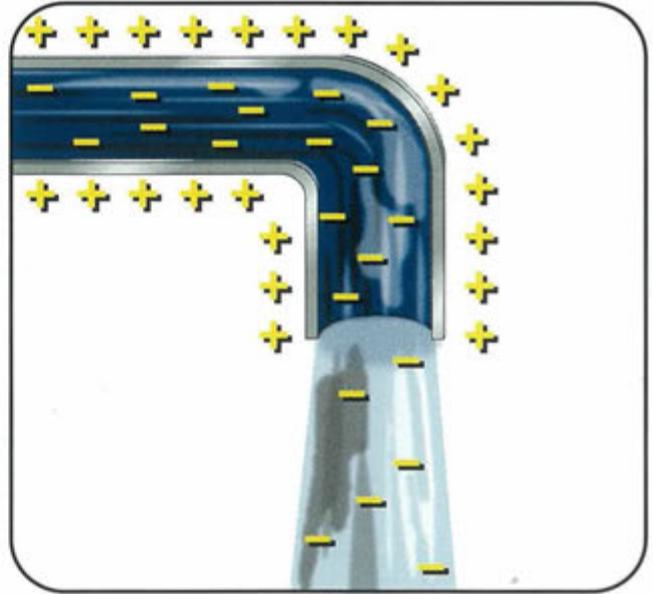
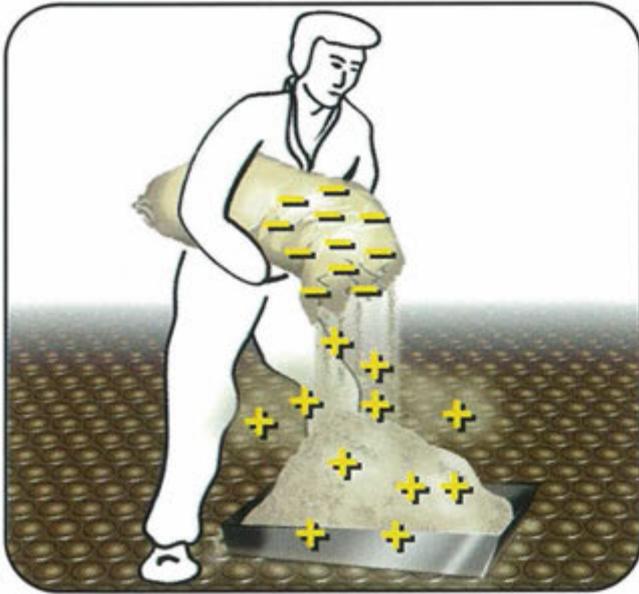


Figure 8: Exemples de contact/séparation

Quand un matériau est-il isolant (non conducteur) ?

Les propriétés isolantes des matériaux (solides, produits en vrac, liquides) sont déterminées par leur résistance électrique.

- Les solides isolants types sont les matières plastiques (presque toutes) : polyéthylène (PE), polypropylène (PP), polychlorure de vinyle (PVC), polytétrafluoroéthylène (PTFE). D'autres produits organiques peuvent également être isolants lorsqu'ils sont secs.
- Les liquides isolants types sont par exemple les hydrocarbures tels que l'hexane, l'heptane, l'essence, le toluène, les xylènes.

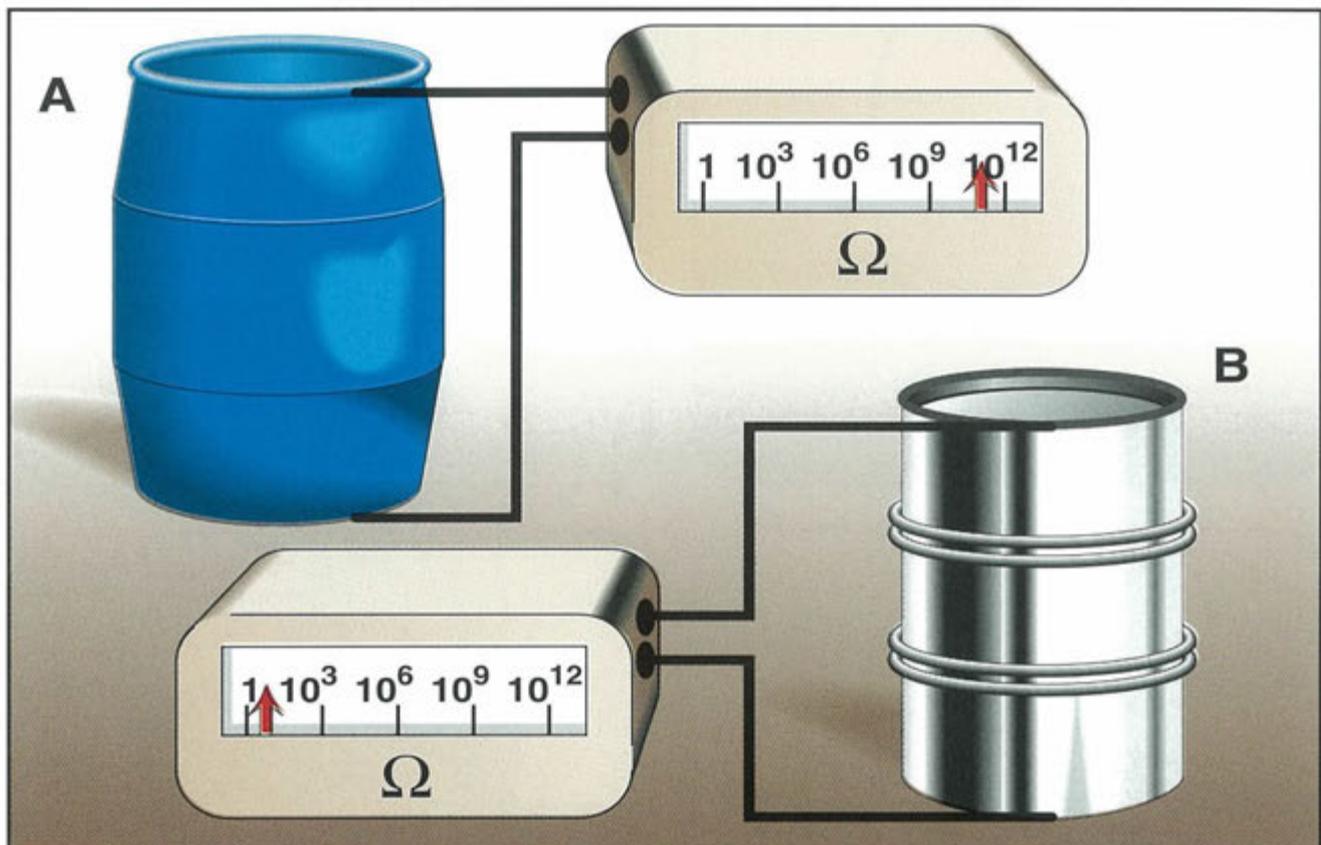


Figure 9: Détermination des propriétés isolantes par mesure de la résistance électrique — A: Récipient en matière plastique (isolant, non conducteur) — B: Fût métallique (conducteur)

Au cours d'un processus de contact/séparation, il faut toujours s'attendre à une électrisation si l'un des matériaux en contact est isolant.

Existe-t-il des mécanismes d'électrisation autres que les processus de contact/séparation ?

L'influence est un mécanisme d'électrisation dans lequel n'interviennent pas les phénomènes de contact/séparation. Il s'agit d'un phénomène physique caractérisé par le fait que les charges présentes sur une surface conductrice se déplacent sous l'effet des charges présentes sur une surface voisine (champ électrique) de telle sorte qu'il se produit une électrisation. Exemple type : personne portant des chaussures isolantes au voisinage d'un sac en matière plastique électrisé.

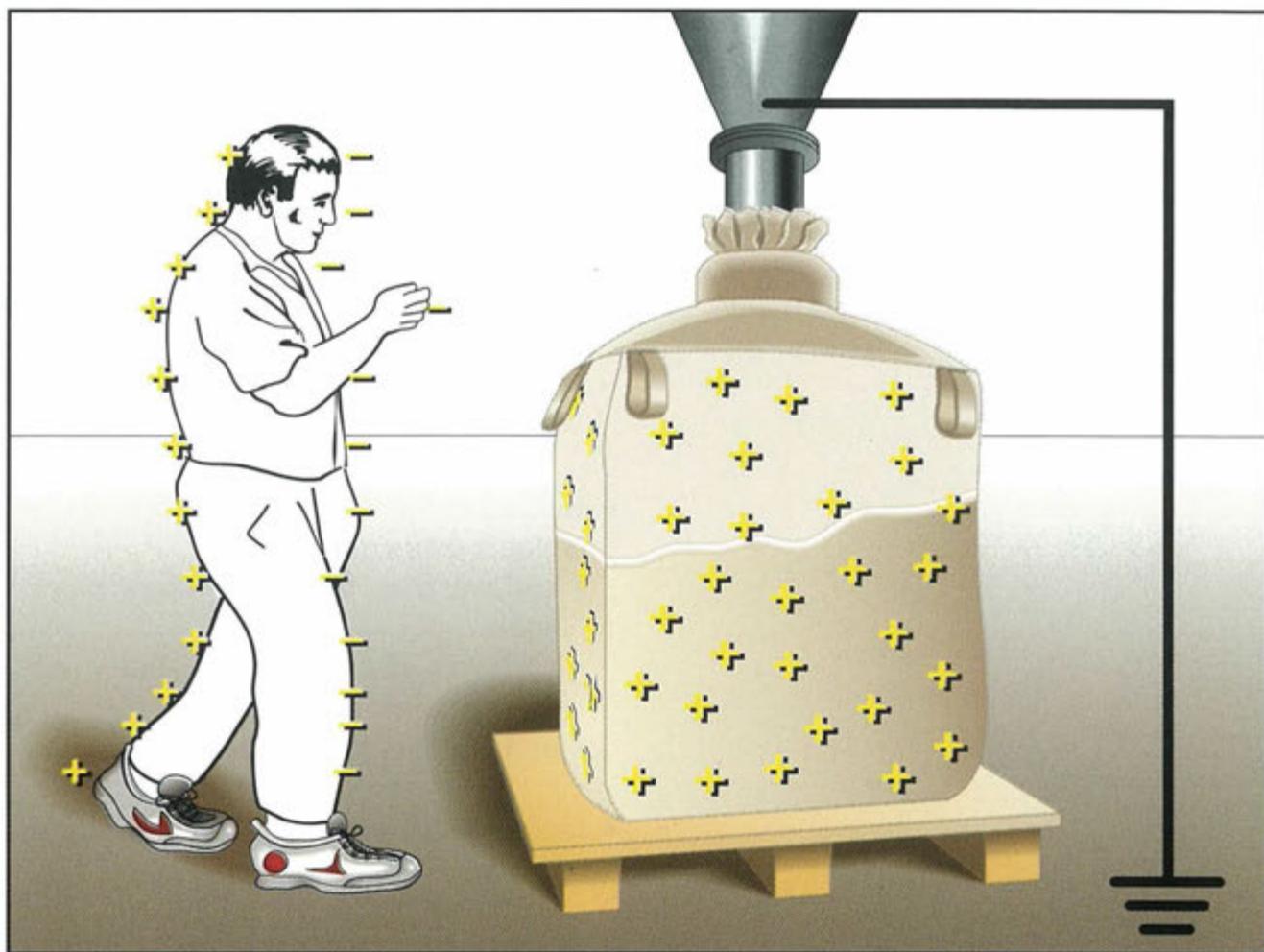


Figure 10: Électrisation par influence d'une personne isolée de la terre (chaussures non conductrices)

Les pièces métalliques et les personnes dont la liaison à la terre n'est pas assurée peuvent aussi être électrisées par influence.

Accumulation et écoulement des charges

Où les charges peuvent-elles s'accumuler ?

Les charges peuvent s'accumuler sur ou dans les éléments suivants :

- Parties conductrices isolées électriquement de la terre telles que :
 - corps humain lorsque la personne porte des chaussures isolantes ou que le sol n'est pas conducteur
 - tube métallique isolé par des joints non conducteurs
 - fût métallique placé sur une surface isolante
 - poudre métallique déversée dans un emballage isolant.
- Surfaces de matériaux ou produits isolants telles que :
 - surface d'un sac en matière plastique
 - surface d'une canalisation en matière plastique
 - surface d'un tissu filtrant isolant.
- Liquides, suspensions et émulsions isolants.
- Produits isolants stockés en vrac.
- Nuages de gouttelettes ou de particules solides électrisées.

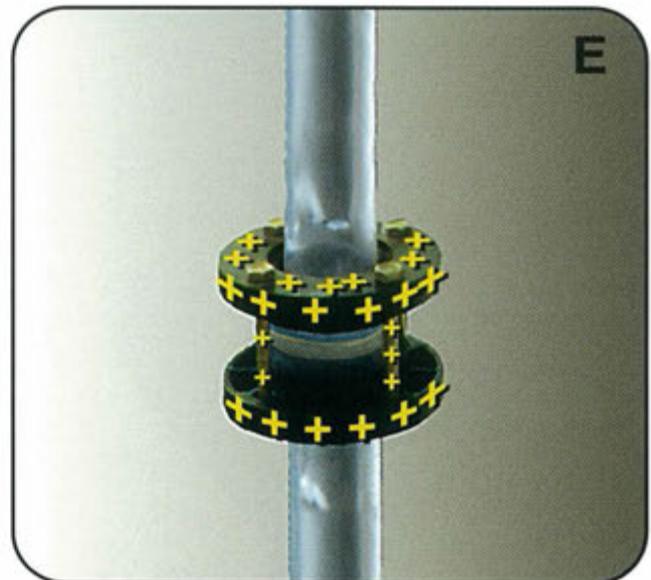
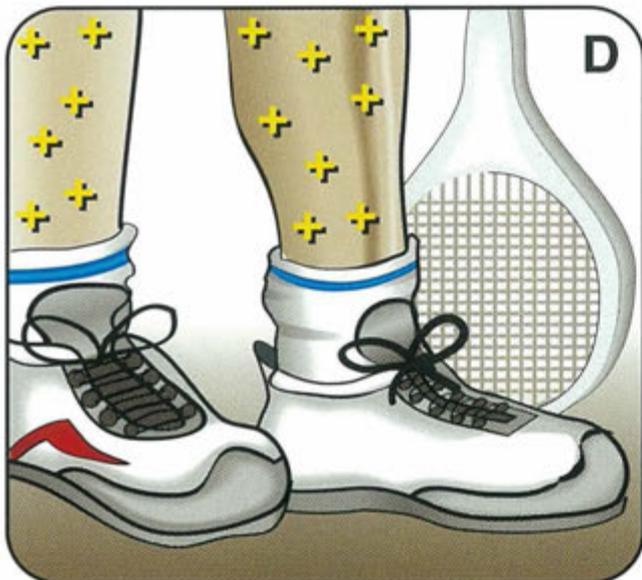
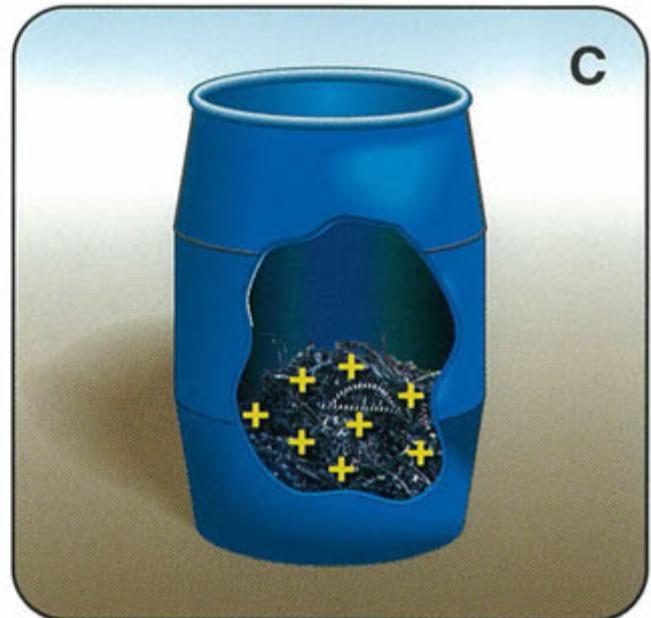
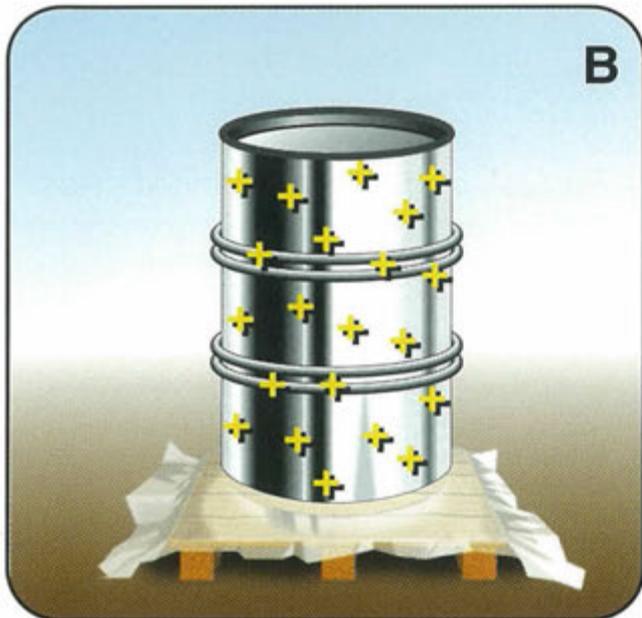
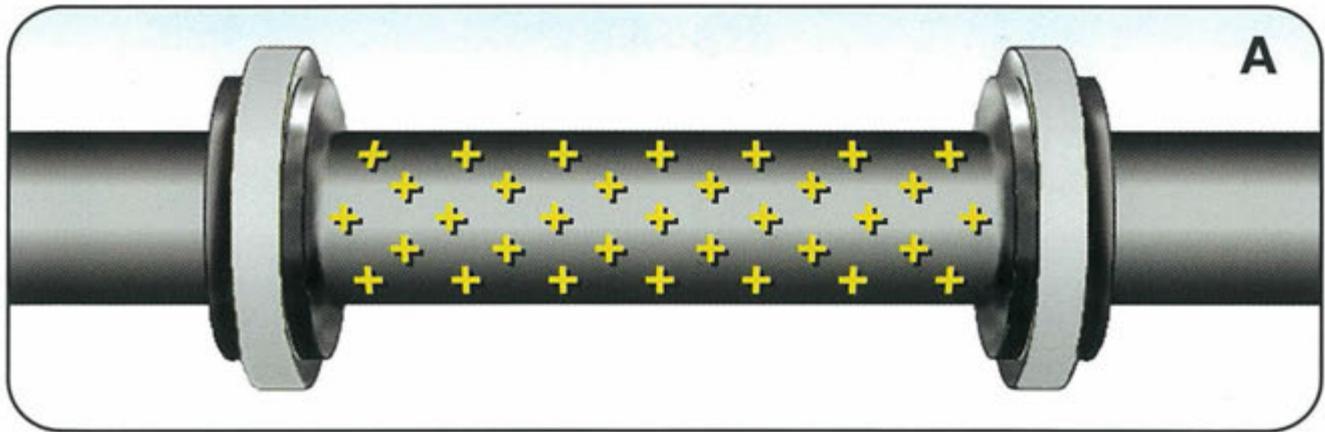


Figure 11: Exemples d'accumulation de charges sur des parties conductrices isolées électriquement de la terre – A: Tube avec joints isolants B: Fût métallique sur surface isolante C: Copeaux métalliques dans un récipient en matière plastique D: Personne avec chaussures isolantes E: Bride métallique sur un tube en verre

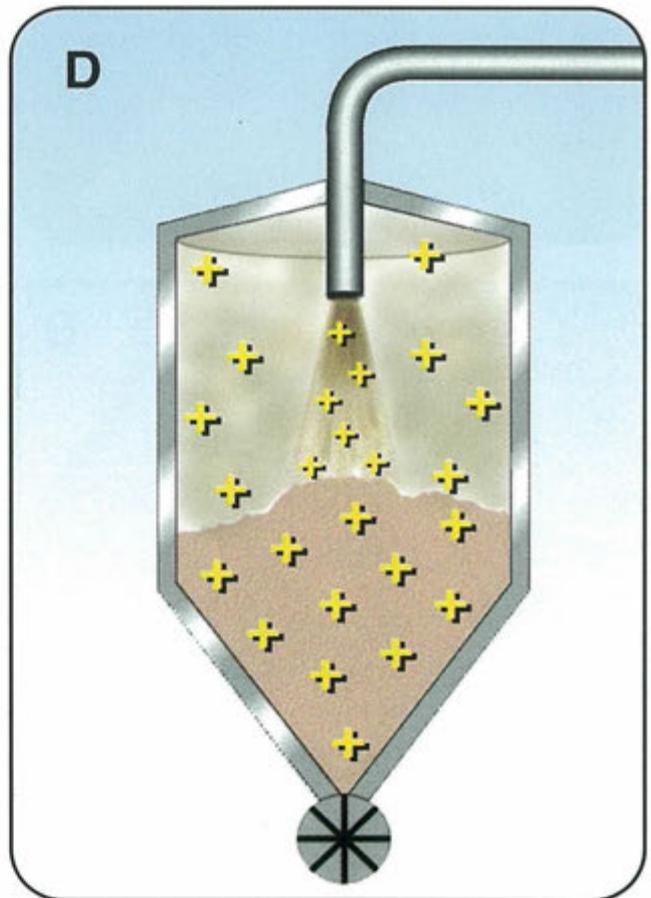
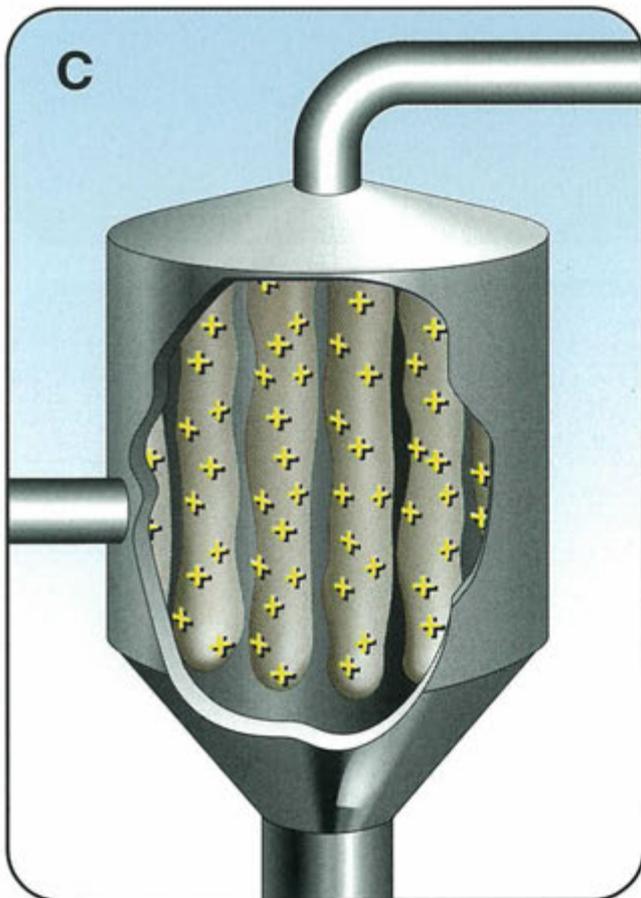
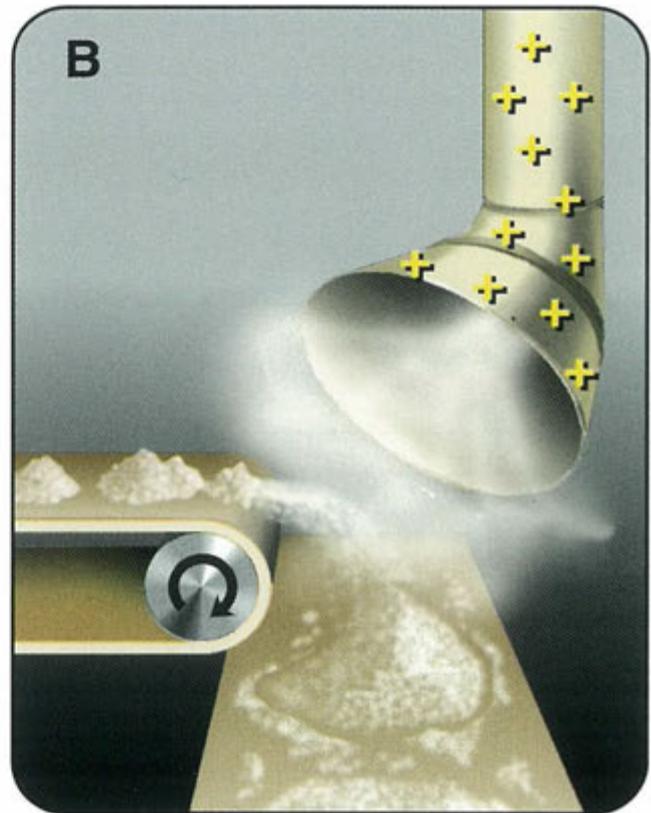


Figure 12: Exemples d'accumulation de charges à la surface de matériaux ou de produits isolants – A: Film rétractable B: Dispositif d'aspiration locale en matière plastique C: Manches filtrantes non conductrices D: Produit en vrac isolant

Quand les charges s'écoulent-elles ?

Les charges s'écoulent lorsque l'objet chargé est conducteur et mis à la terre.

Quelles sont les grandeurs utilisées pour évaluer la conductivité (capacité à assurer l'écoulement des charges) ?

Pour évaluer la conductivité, on se fonde sur la résistance électrique. Différentes grandeurs sont utilisées selon les cas :

- La **résistivité**, qui exprime la résistance électrique d'un solide, d'un liquide ou d'un matériau pulvérulent et qui est une constante propre au matériau considéré.
- La **conductivité**, qui est l'inverse de la résistivité d'un matériau et qui est une constante propre à ce matériau. On l'utilise notamment pour caractériser les liquides.
- La **résistance superficielle**, qui sert à déterminer la capacité d'écoulement des charges à la surface d'un solide.
- La **résistance transversale**, qui est la résistance totale entre deux points d'un objet (par exemple entre l'intérieur et la semelle d'usure d'une chaussure) et qui dépend du matériau constitutif et de la géométrie de l'objet.
- La **résistance d'isolement**, qui est la résistance totale entre un point et la terre, souvent appelée résistance d'écoulement à la terre.

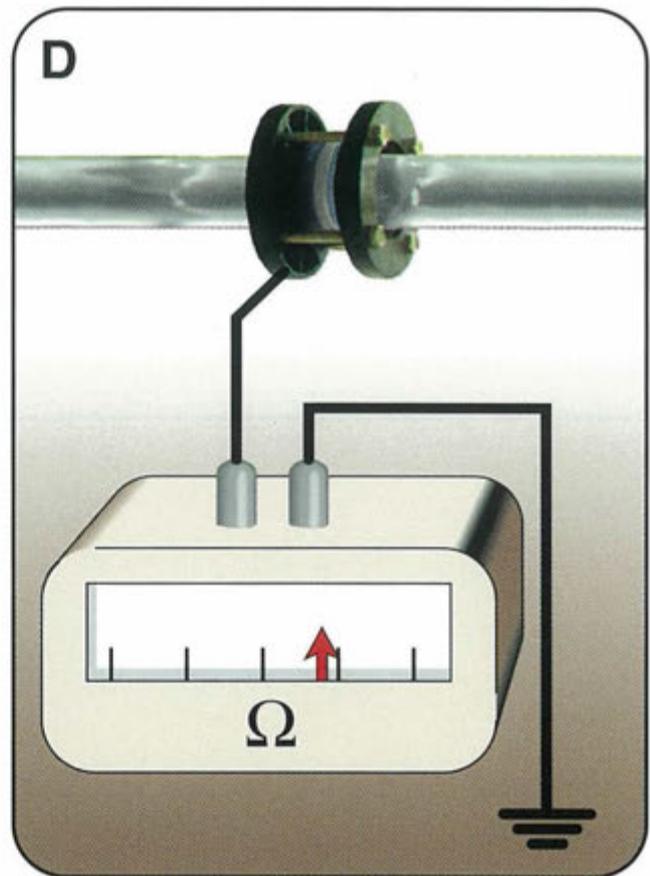
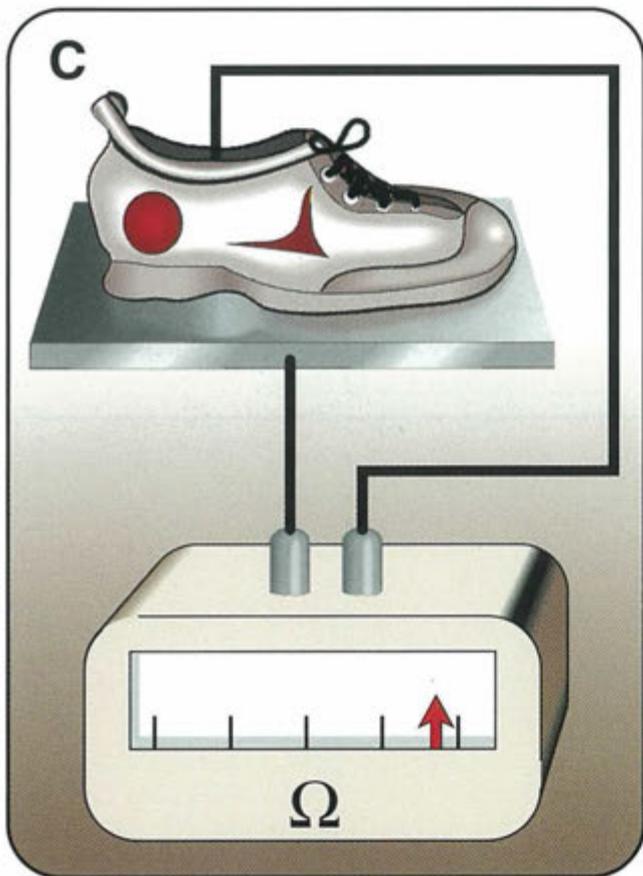
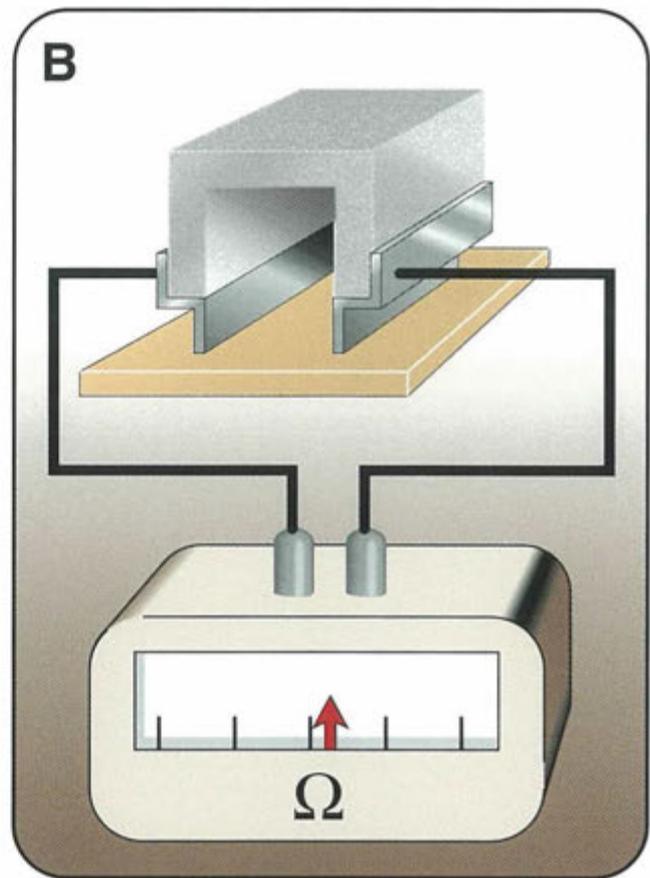
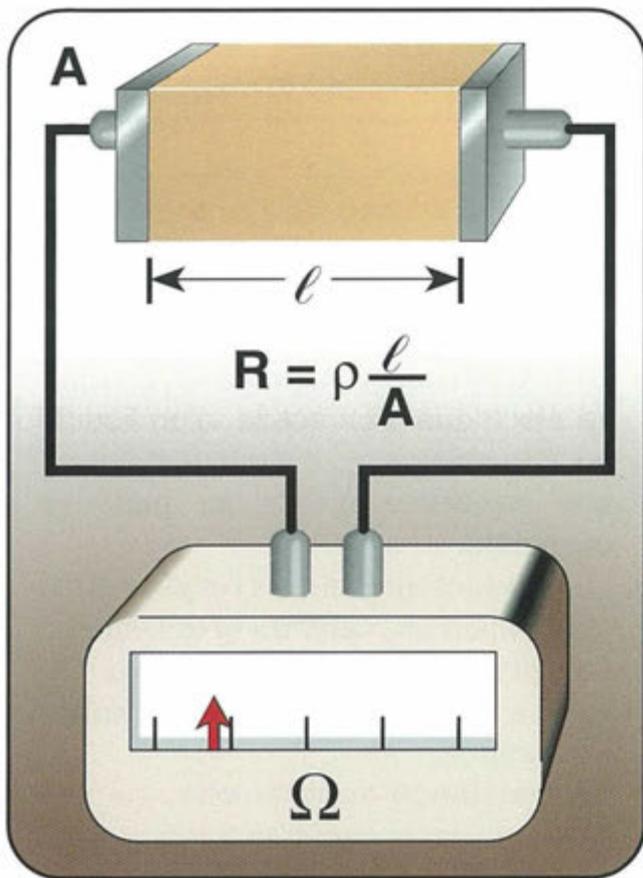


Figure 13: Exemples de mesure de la résistance

A: Résistivité B: Résistance superficielle C: Résistance transversale d'une chaussure D: Résistance d'écoulement à la terre

Existe-t-il des valeurs limites de résistance garantissant la sécurité des personnes ?

Les valeurs limites de résistance correspondant à un écoulement des charges sans risque pour les personnes dépendent de la grandeur considérée (résistivité, résistance superficielle, etc.). Par ailleurs, les valeurs fixées par les réglementations nationales peuvent varier d'un pays à l'autre. A titre indicatif, les valeurs suivantes sont jugées satisfaisantes par les praticiens :

- Mise à la terre de parties d'installation: résistance d'écoulement à la terre $\leq 10^6 \Omega$
- Mise à la terre de personnes: résistance transversale des chaussures et résistance d'isolement du sol $\leq 10^8 \Omega$

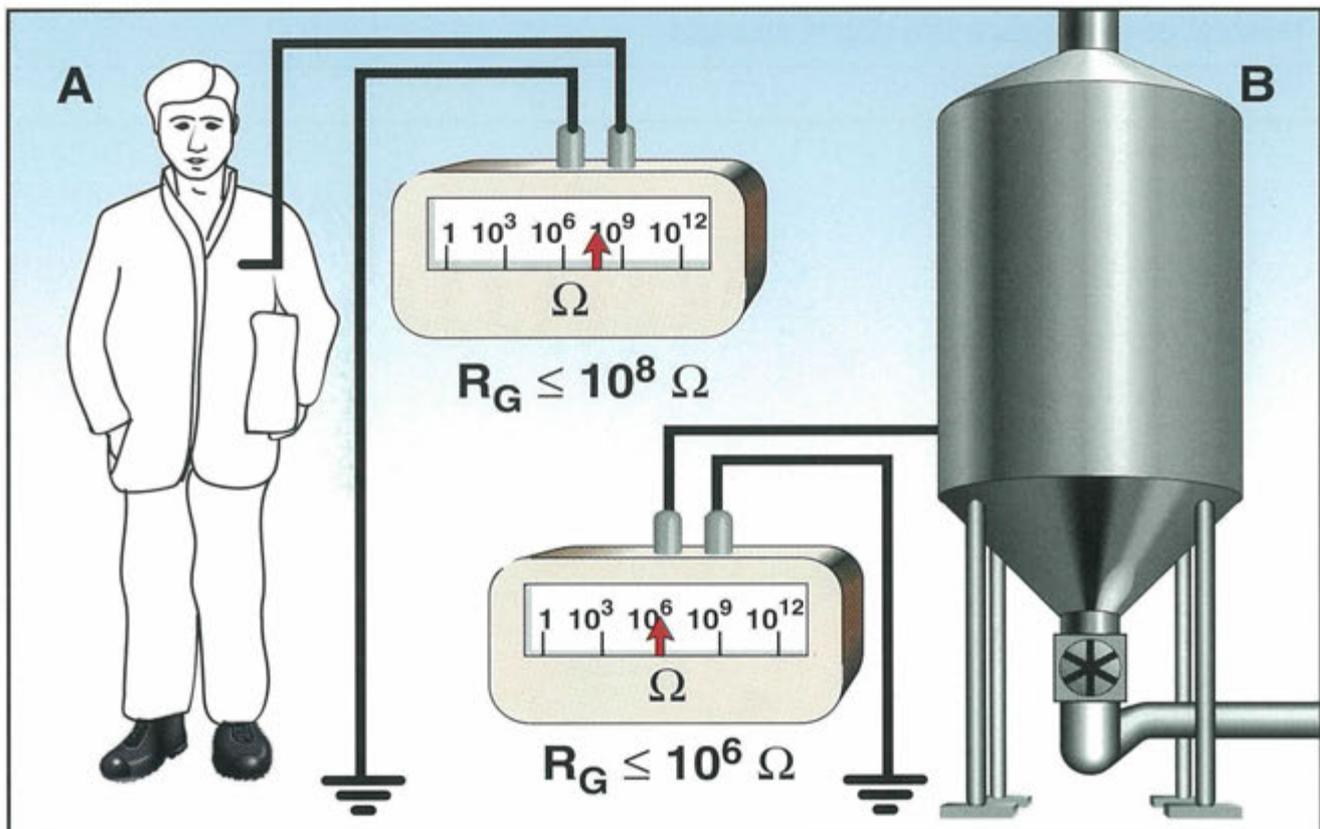


Figure 14: Valeurs limites supérieures de la résistance d'écoulement à la terre –
A: Mise à la terre de personnes B: Mise à la terre de parties d'installation

L'ordre de grandeur des résistances à mesurer, dans le cadre de l'évaluation des risques liés à l'électricité statique, impose de faire appel à des spécialistes équipés d'instruments de mesure adaptés.

Types de décharge et pouvoir d'inflammation

Lorsque le champ électrique devient très intense en raison d'une forte densité de charge (accumulation de charges sur un espace restreint), il se produit une décharge au moment où la valeur disruptive du champ électrique est atteinte. Le pouvoir d'inflammation (l'efficacité) d'une décharge est déterminé principalement par l'énergie libérée lors de la décharge. Dans certains cas, l'énergie libérée ne représente qu'une fraction de l'énergie globale des charges accumulées. L'expérience et des considérations théoriques ont permis d'établir dans quelles conditions toute l'énergie accumulée ou une partie seulement de cette énergie est libérée lors du processus de décharge. On peut distinguer différents types de décharge, correspondant à différents niveaux énergétiques et, donc, à différents pouvoirs d'inflammation (équivalents énergétiques). Cette distinction repose sur la conductivité, la géométrie et la position dans l'espace des objets chargés.

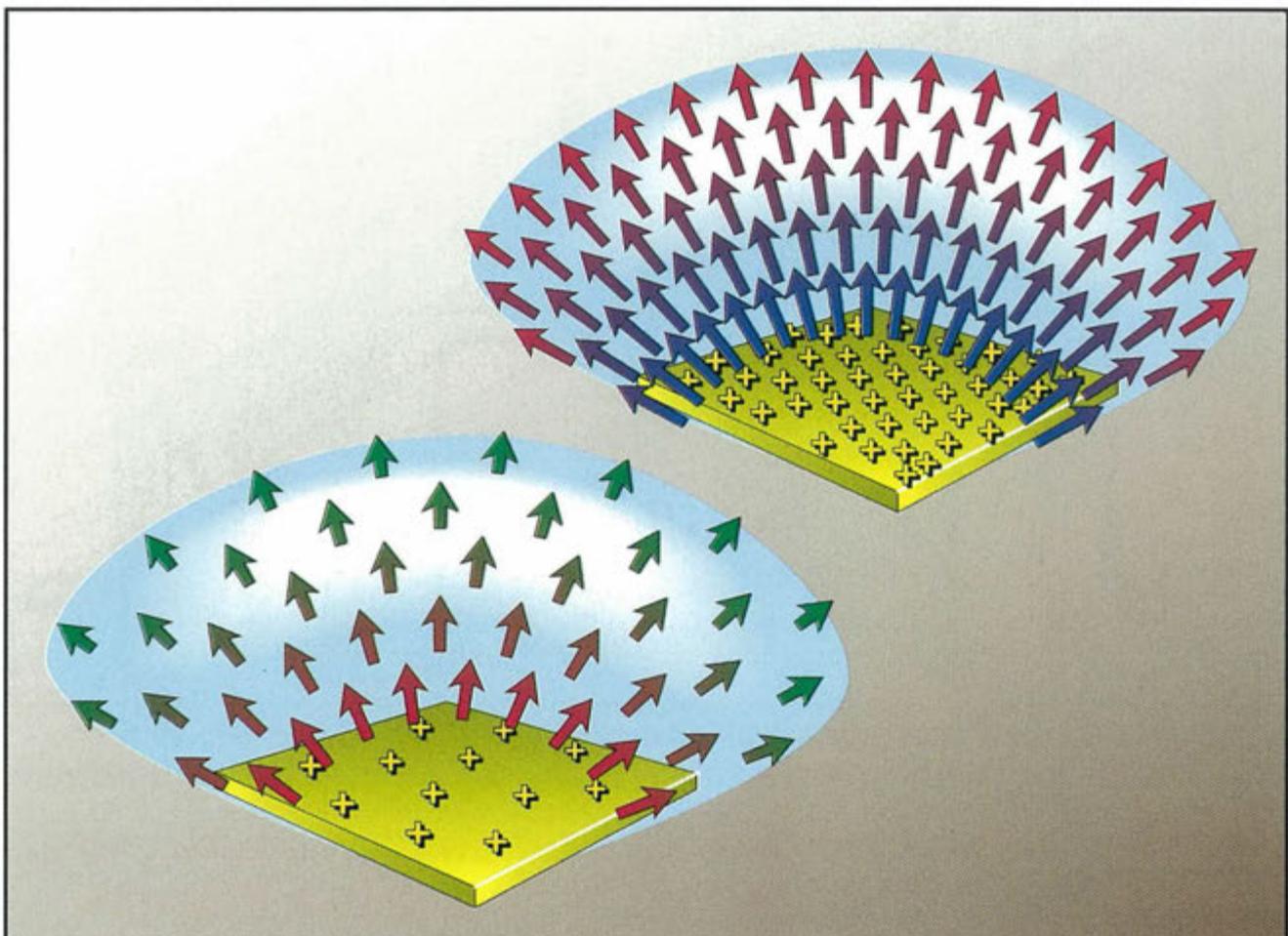


Figure 15: Relations entre densité de charge et intensité de champ : plus la densité de charge est élevée, plus l'intensité de champ est forte (longueur des flèches)

Quand se produit-il une décharge ?

La décharge se produit lorsque la valeur disruptive du champ électrique est atteinte ; pour cela, il faut que la densité volumique ou superficielle de charge (l'accumulation de charges) soit suffisamment forte.

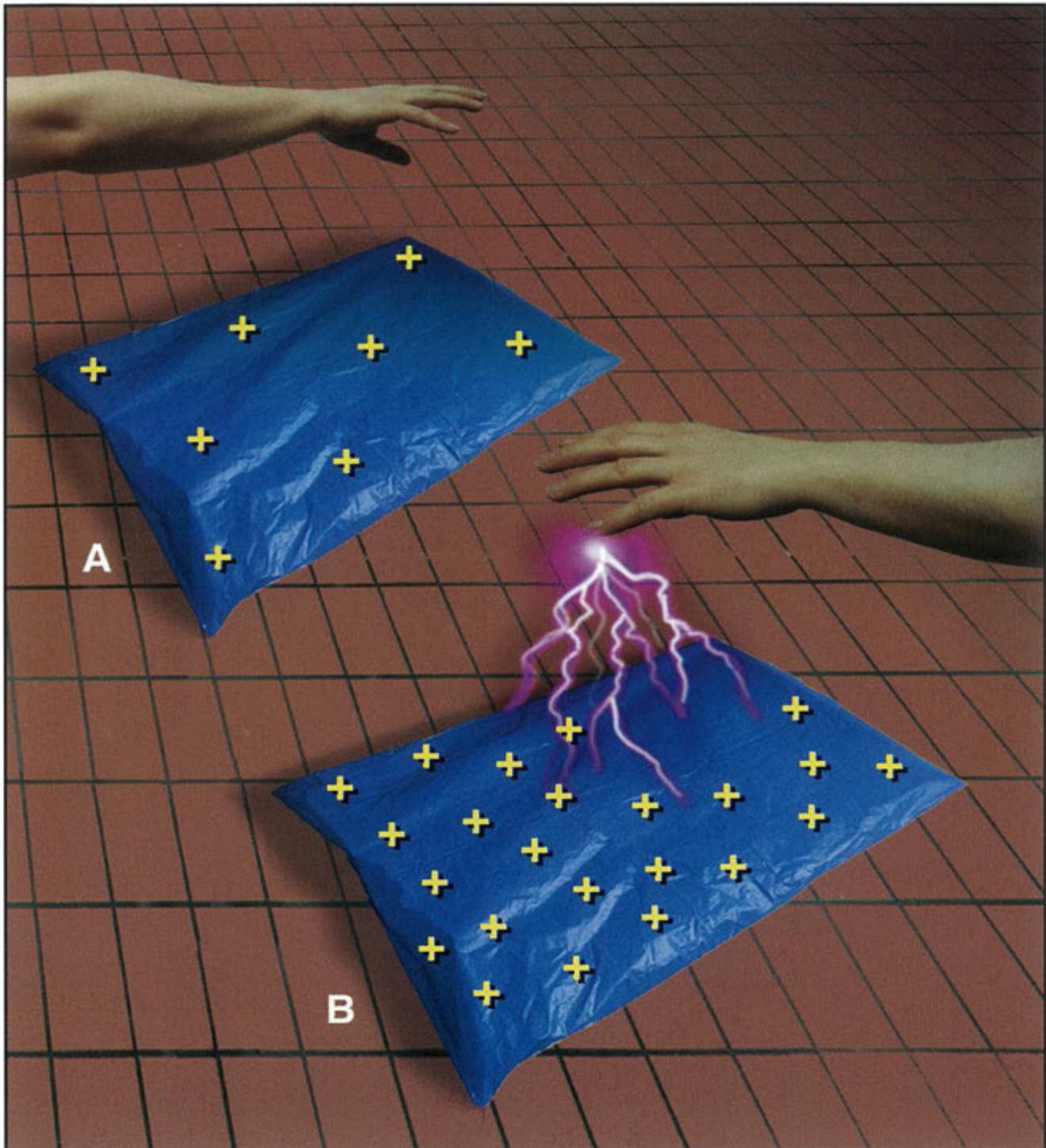


Figure 16: Relations entre intensité de champ et décharge
A: Faible intensité de champ \leftrightarrow pas de décharge
B: Forte intensité de champ \leftrightarrow décharge

Quel est le pouvoir d'inflammation d'une décharge ?

La quantité d'énergie libérée par une décharge varie en fonction de la situation. De cette quantité d'énergie dépend le pouvoir d'inflammation de la décharge. On peut classer les décharges selon leur type et selon leur pouvoir d'inflammation.

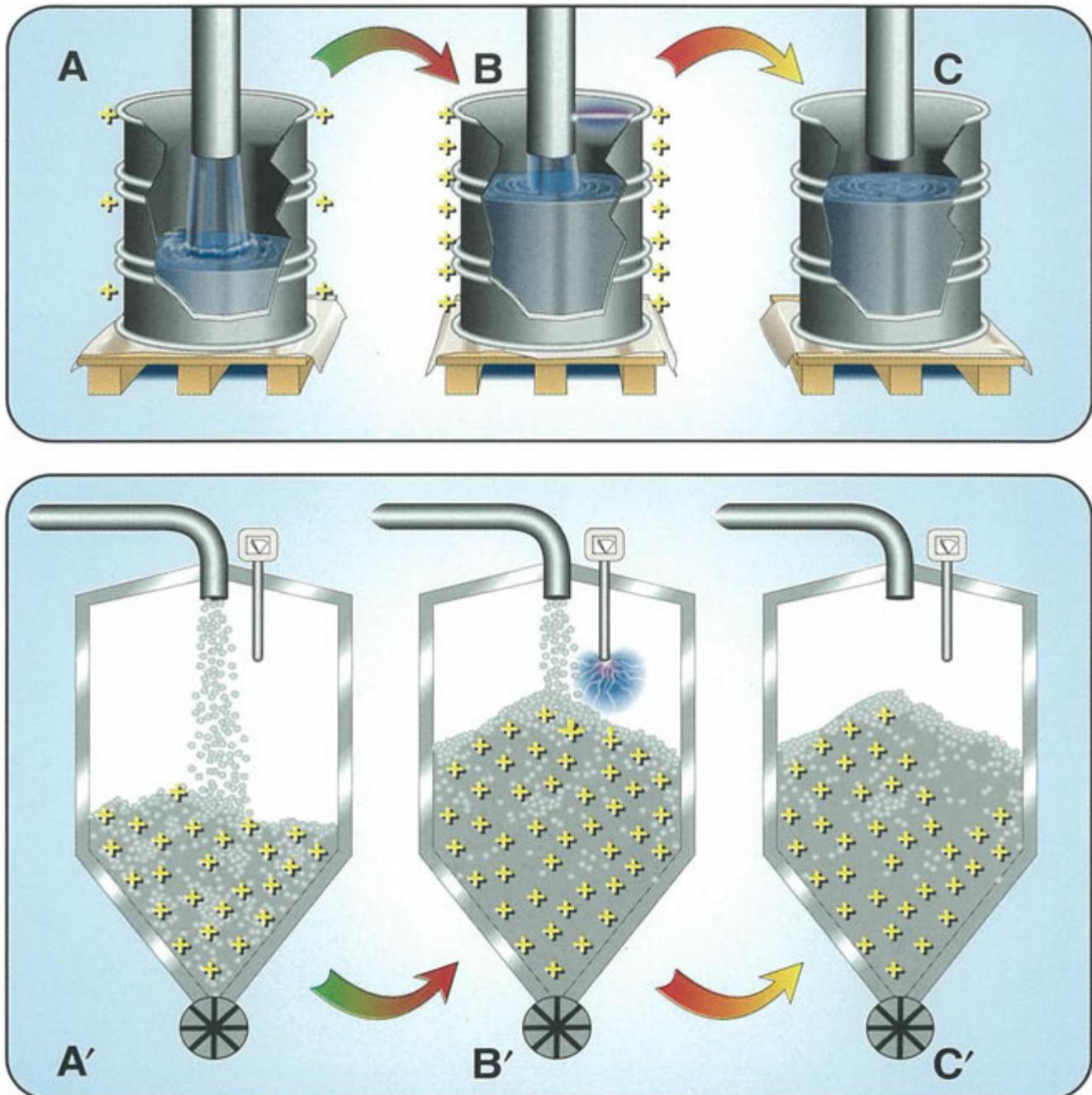


Figure 17: Comparaison du degré de décharge dans le cas de fûts métalliques et dans le cas de silos contenant un produit isolant – A : Contact/séparation et électrisation B : Décharge par étincelles C : Écoulement total des charges A' : Contact/séparation et électrisation B' : Décharge en aigrette C' : Écoulement des charges limité localement

Quel est le degré d'inflammabilité des mélanges explosibles ?

Le degré d'inflammabilité d'un produit sous l'effet de décharges d'électricité statique dépend de l'énergie minimale d'inflammation du mélange explosible considéré.

Qu'est-ce que l'énergie minimale d'inflammation (EMI) ?

L'énergie minimale d'inflammation d'un mélange explosible est la plus faible quantité d'énergie requise, sous la forme d'une étincelle de décharge de condensateur, pour enflammer en conditions normales le mélange air-combustible le plus facilement inflammable.

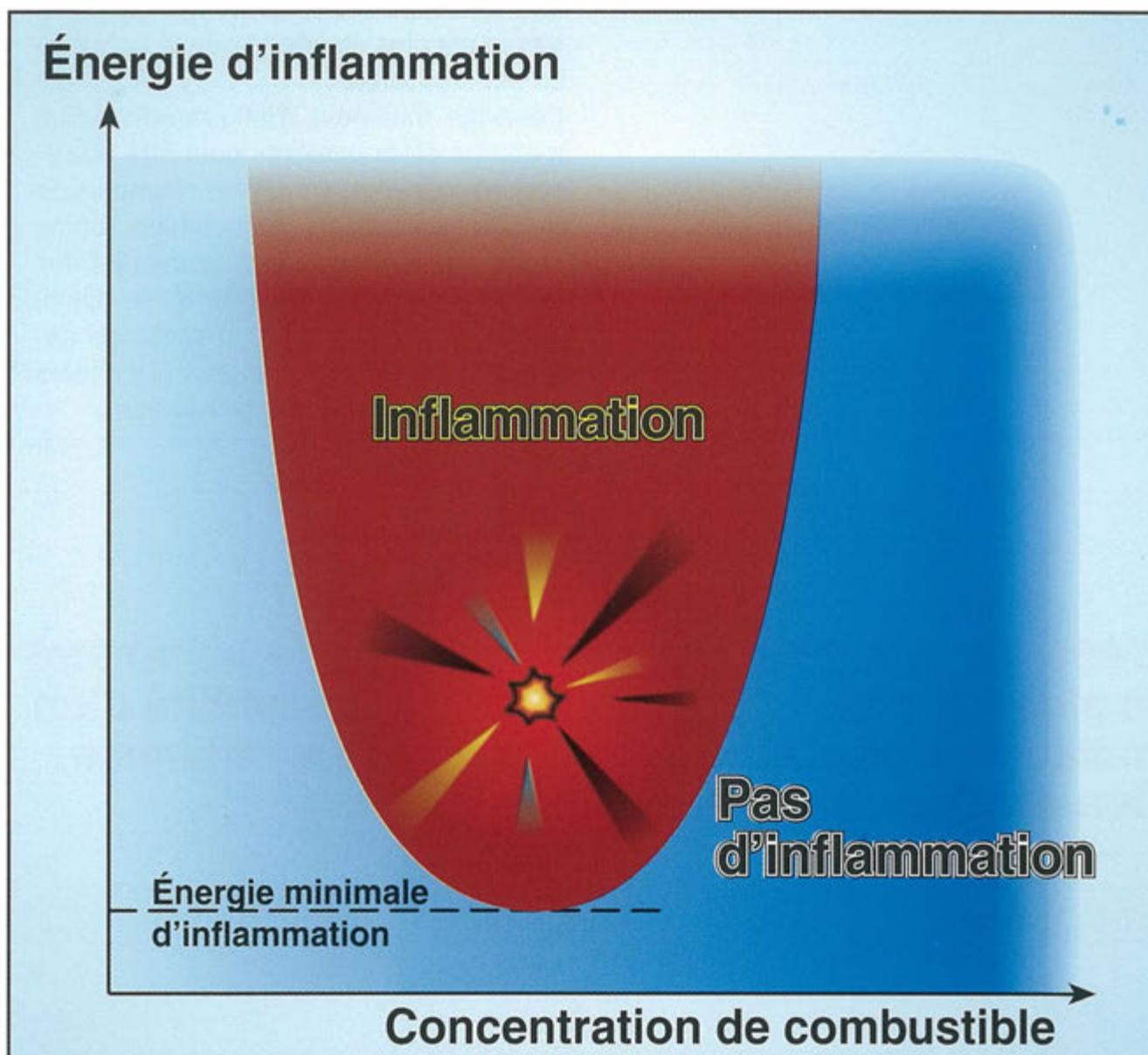


Figure 18: Énergie d'inflammation en fonction de la concentration de combustible

Quelle est l'énergie minimale d'inflammation des mélanges explosibles air-combustible ?

L'énergie minimale d'inflammation des mélanges air-vapeurs de solvant les plus courants varie entre 0,3 et 1 mJ.

Celle des substances très inflammables comme l'acétylène, l'hydrogène ou le disulfure de carbone en mélange avec l'air est inférieure à 0,025 mJ.

Pour les poussières combustibles, les valeurs sont très variables. Elles peuvent être inférieures à 10 mJ pour certaines poussières, voire, plus rarement, à 1 mJ. De façon générale, l'énergie minimale d'inflammation d'un mélange air-poussières est d'autant plus faible que le produit est plus sec et plus finement divisé, que la température du nuage de poussières est plus élevée et que la turbulence est plus faible.

L'énergie minimale d'inflammation d'un mélange air-poussières peut être abaissée en présence de petites quantités de gaz ou de vapeurs inflammables, même si ces gaz ou vapeurs se trouvent à des concentrations inférieures à la limite inférieure d'explosivité du mélange air-gaz ou air-vapeurs considéré (il y a alors constitution d'un mélange hybride).

L'énergie minimale d'inflammation est le paramètre le plus important pour décrire l'inflammabilité d'un mélange explosible lorsque la source d'inflammation est l'électricité statique.

Quelle est l'efficacité des décharges comme sources d'inflammation ?

L'efficacité d'une décharge comme source d'inflammation d'un mélange explosible dépend de l'énergie minimale d'inflammation du mélange et du pouvoir d'inflammation (énergie libérée) de la décharge.

Quels sont les types de décharge connus ?

Dans la pratique, on observe les types de décharges suivants :

- décharges par étincelles
- décharges en aigrette
- décharges par effet corona
- décharges glissantes (ou rampantes) de surface
- décharges de cône

Les décharges en éclair observées pendant les orages ou dans les nuages de cendres lors des éruptions volcaniques n'ont jamais été décrites à ce jour en milieu industriel.

Type de décharge	Efficacité comme source d'inflammation pour des mélanges air et		
	hydrogène, acétylène, etc.	vapeurs de solvants	poussières combustibles sèches
	EMI ≤ 0,025 mJ	EMI > 0,025 mJ	EMI > 1 mJ
Étincelles	+	+	+
Aigrette	+	+	(-) ¹⁾
Surface	+	+	+
Corona	(+)	-	-
Cône	+	+	+

¹⁾ Il est impossible d'exclure avec certitude l'inflammation de poussières extrêmement inflammables

Tableau 1 : Efficacité des différents types de décharge électrostatique comme sources d'inflammation

Qu'est-ce qu'une décharge par étincelles ?

Une décharge par étincelles est une décharge entre deux objets conducteurs se trouvant à des potentiels différents. Elle se produit lorsque le champ électrique entre les deux objets conducteurs atteint une valeur disruptive.

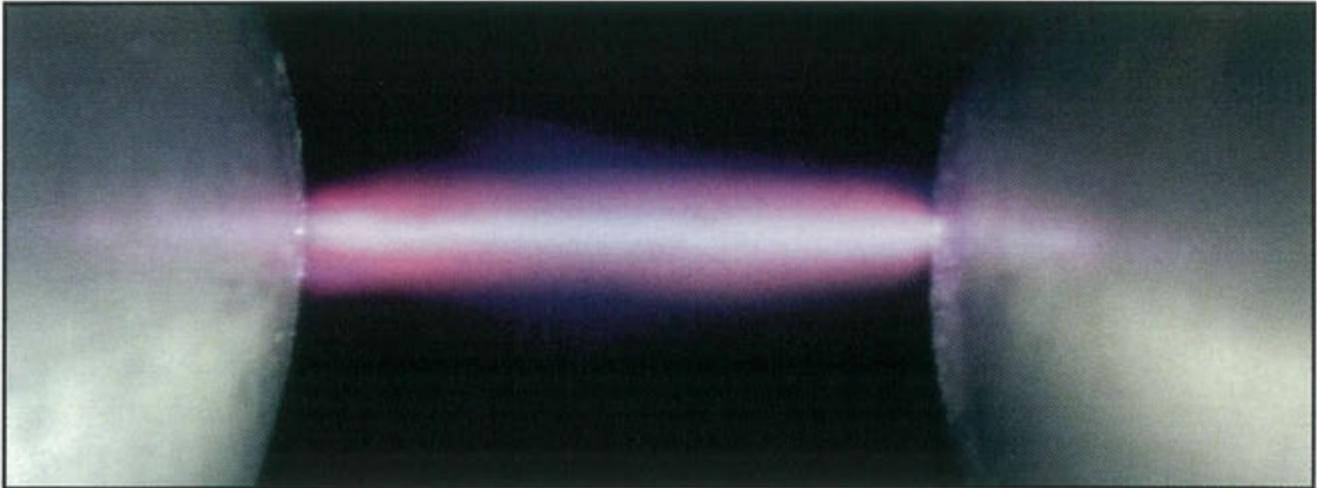


Figure 19: Décharge par étincelles (photographie)

Quand les décharges par étincelles se produisent-elles ?

Les décharges par étincelles se produisent généralement lorsque des objets conducteurs (parties d'installation, récipients, produits, personnes, etc.) qui ne sont pas reliés à la terre se chargent électriquement et qu'il existe un intervalle de décharge adéquat. Cette condition est réalisée par exemple lorsqu'un objet conducteur relié à la terre se trouve à proximité d'un conducteur isolé chargé électriquement et que, dans l'intervalle entre les deux objets, la valeur disruptive du champ électrique est atteinte. Des décharges par étincelles peuvent par exemple se produire en présence des éléments suivants :

- tube conducteur isolé par des joints,
- personne portant des chaussures isolantes,
- fût métallique placé sur une surface isolante,
- liquide conducteur dans un récipient isolant en matière plastique.

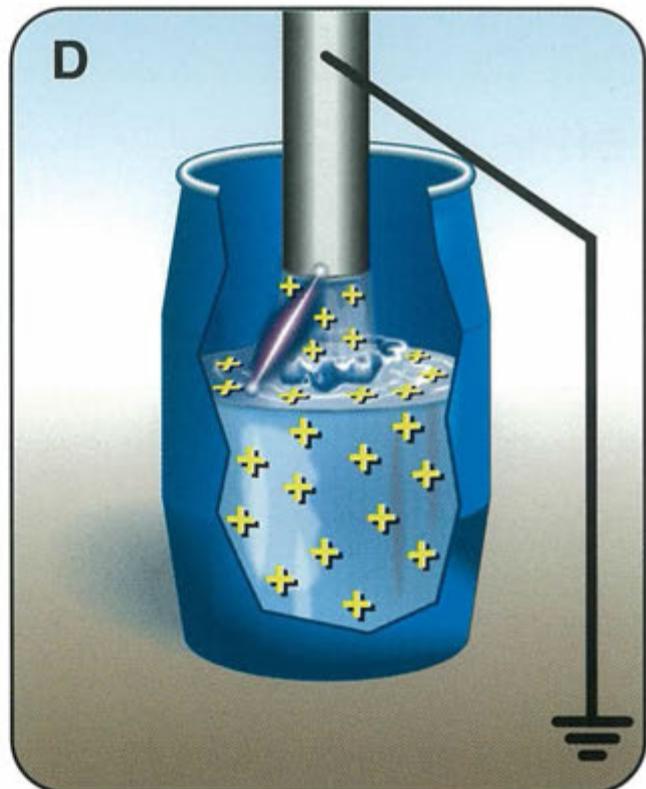
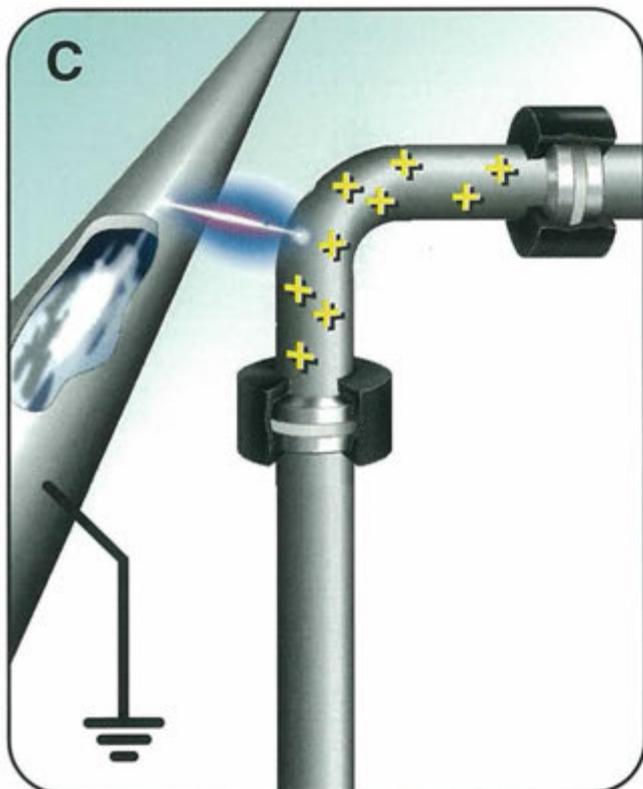
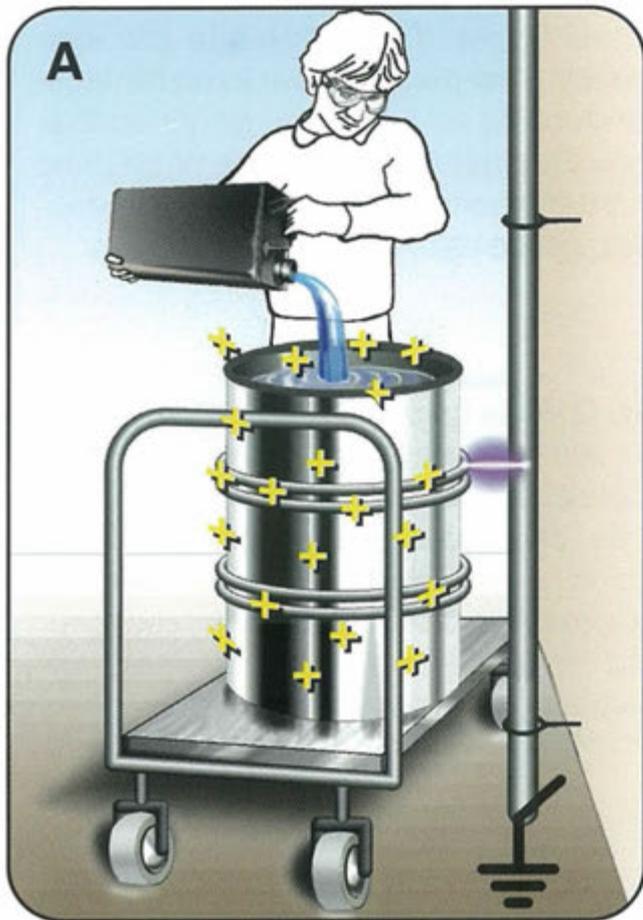


Figure 20: Exemples de décharges par étincelles – A: Fût métallique isolé de la terre B: Personne isolée de la terre par ses chaussures C: Coude métallique isolé par des joints D: Liquide conducteur isolé par un récipient en matière plastique

Quel est le pouvoir d'inflammation des décharges par étincelles ?

Dans le cas d'une décharge par étincelles, c'est pratiquement toute l'énergie accumulée sur l'objet chargé qui est libérée. L'énergie de la décharge W est donc sensiblement égale à l'énergie accumulée, qui se calcule d'après la formule

$$W = \frac{1}{2} C \cdot U^2$$

où C est la capacité de l'objet chargé et U son potentiel (l'objet joue le rôle de condensateur).

Les décharges par étincelles doivent donc être considérées comme des sources d'inflammation efficaces pour les mélanges explosibles air-gaz, air-vapeurs et air-poussières.

Objet chargé	Capacité C [pF]	Potentiel U [kV]	Énergie W [mJ]
Bride	10	10	0,5
Petit récipient (50 l)	50	8	2
Personne	150	12	11
Fût métallique (200 l)	200	20	40

Tableau 2: Valeurs types de l'énergie des décharges par étincelles

Comment les décharges par étincelles peuvent-elles être évitées ?

Les décharges par étincelles peuvent être évitées par la mise à la terre de tous les objets conducteurs (parties d'installation, récipients, produits, personnes, etc.).

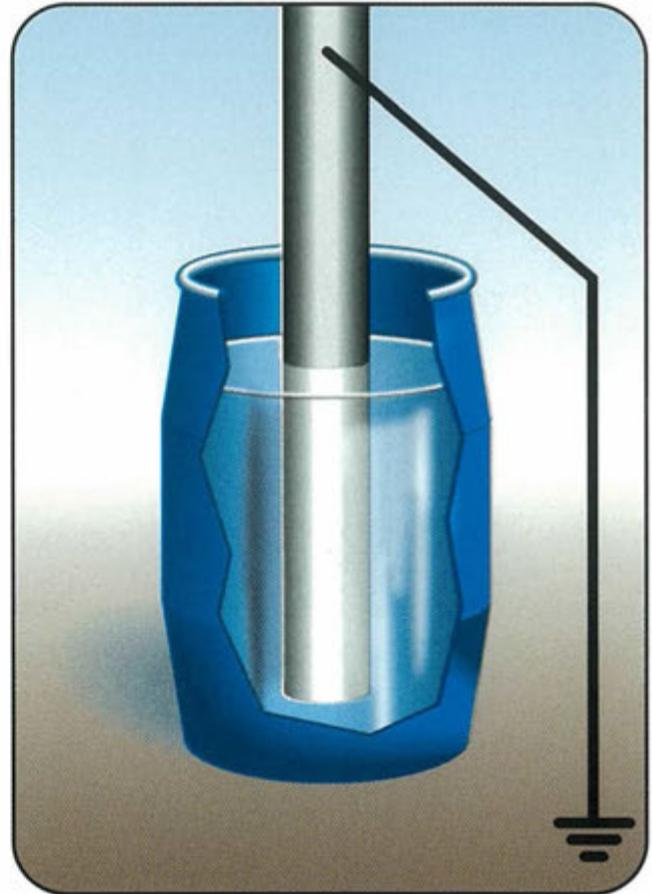
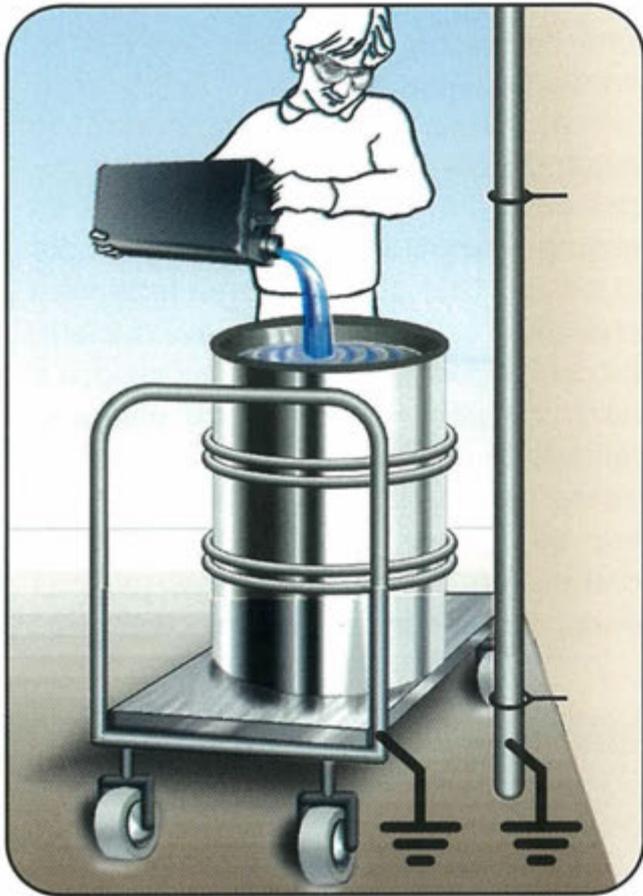


Figure 21 : Exemples de mise à la terre de tous les éléments et produits conducteurs permettant d'éviter les décharges par étincelles (cf. figure 20)

Qu'est-ce qu'une décharge en aigrette ?

Des décharges en aigrette peuvent se produire lorsqu'une surface conductrice courbe reliée à la terre (électrode), de rayon de courbure le plus souvent compris entre 5 et 50 mm, est exposée à un champ électrique intense, par exemple le champ créé par la surface fortement chargée d'un matériau non conducteur. La décharge se propage dans l'espace à partir du point de plus forte courbure (plus forte intensité de champ), sous la forme d'un canal de décharge brillant, qui se divise, après quelques millimètres, en fines ramifications (d'où la dénomination de décharge en aigrette).

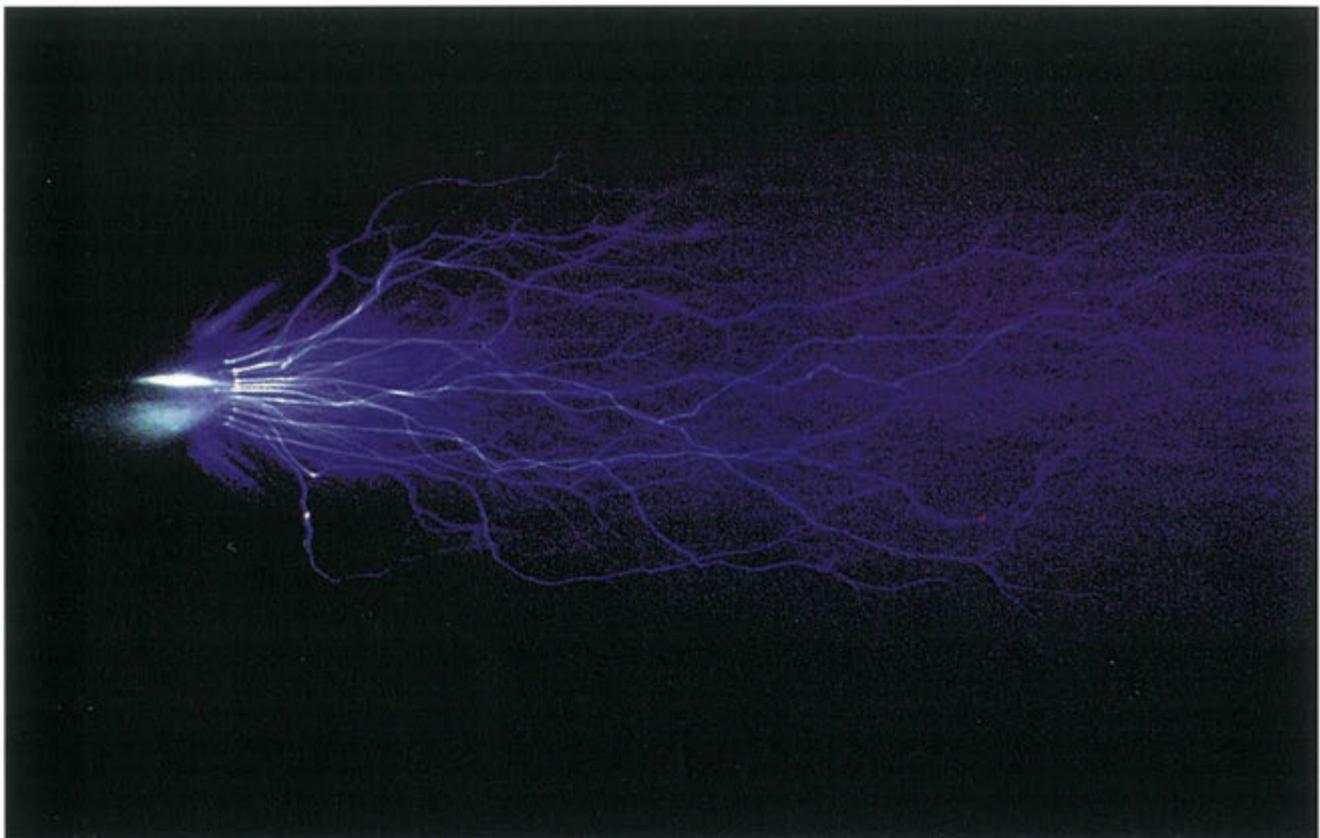


Figure 22: Décharge en aigrette (photographie)

Quand les décharges en aigrette se produisent-elles ?

La façon dont est produit le champ électrique intense n'influe pas sur l'apparition de ces décharges. On les observe notamment dans les cas suivants :

- Électrode conductrice (outil, extrémité de doigt, etc.) à proximité de la surface fortement chargée d'un isolant (canalisation en matière plastique pour le transport de liquides ou de poussières, sac ou récipient en matière plastique, manche filtrante, feuille plastique, bande transporteuse, etc.).
- Déversement de solides contenus dans un sac en matière plastique, déversement du contenu d'un sac en matière plastique à proximité de structures métalliques (par exemple au-dessus de l'ouverture d'un réacteur).
- Déversement rapide d'un liquide non conducteur dans un réservoir, et rapprochement entre la surface du liquide, chargée électriquement, et les structures intérieures conductrices du réservoir.
- Dispositif d'échantillonnage conducteur mis à la terre à proximité de la surface fortement chargée d'un liquide.
- Présence d'un élément conducteur mis à la terre dans un nuage de poussières ou un brouillard fortement chargés.
- Déversement de produits pulvérulents isolants dans un emballage, un récipient ou un silo et rapprochement entre la surface du produit déversé, fortement chargée, et les structures intérieures du conteneur ; introduction dans un conteneur d'un dispositif d'échantillonnage conducteur mis à la terre ou d'une jauge de niveau.
- Présence de hampes de drapeau, antennes, mâts ou piolets dans des champs atmosphériques intenses (feux Saint-Elme par temps d'orage).

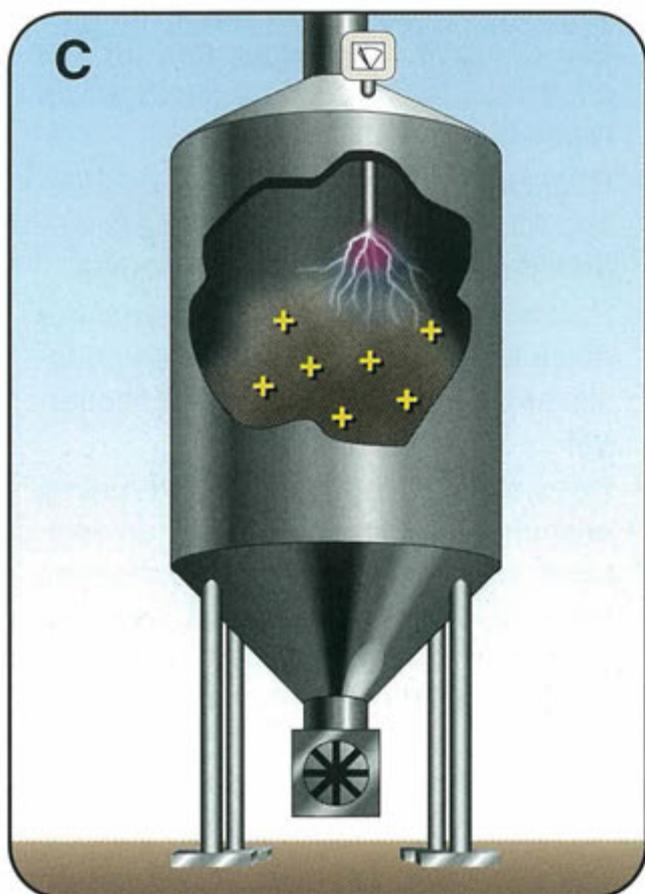
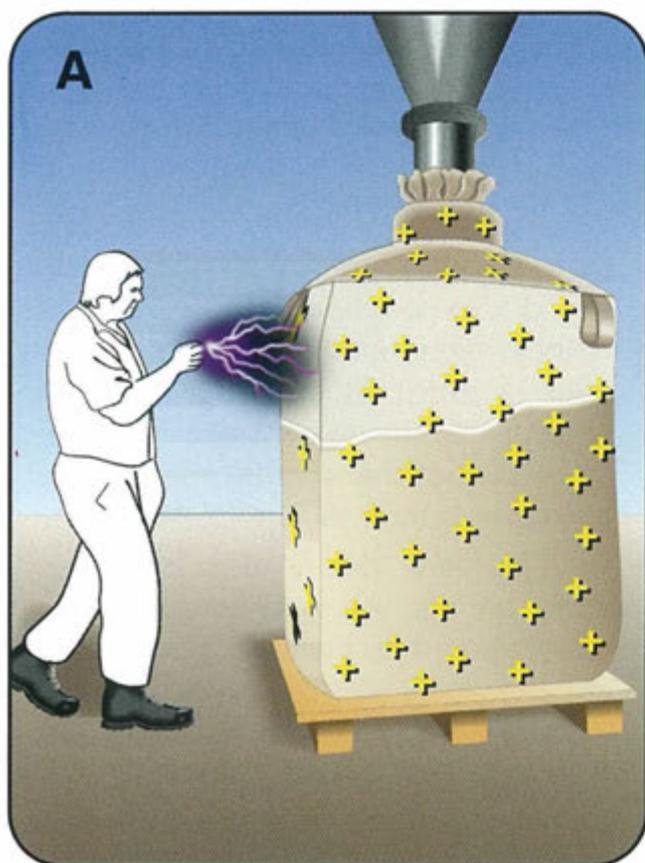


Figure 23: Exemples de décharges en aigrette – A: Du fait d'un conteneur de produit en vrac électrisé B: Du fait d'un liquide isolant électrisé C: Du fait d'un nuage de poussières électrisé D: Du fait d'un nuage d'orage électrisé

Quel est le pouvoir d'inflammation des décharges en aigrette ?

L'énergie des décharges en aigrette est difficile à calculer directement. Les équivalents énergétiques déterminés avec des gaz se situent aux environs de quelques millijoules. En l'état actuel des connaissances, l'inflammation de mélanges air-poussières par des décharges en aigrette semble peu probable. Il est toutefois impossible de l'exclure avec certitude dans le cas des poussières extrêmement inflammables. En revanche, il faut s'attendre à l'inflammation des mélanges air-gaz et air-vapeurs.

Comment les décharges en aigrette peuvent-elles être évitées ?

Pour éviter les décharges en aigrette, il faut empêcher l'apparition de champs électriques intenses, notamment par l'utilisation de matériaux conducteurs reliés à la terre, par la limitation de la surface des objets non conducteurs ou par la mise en place d'écrans.

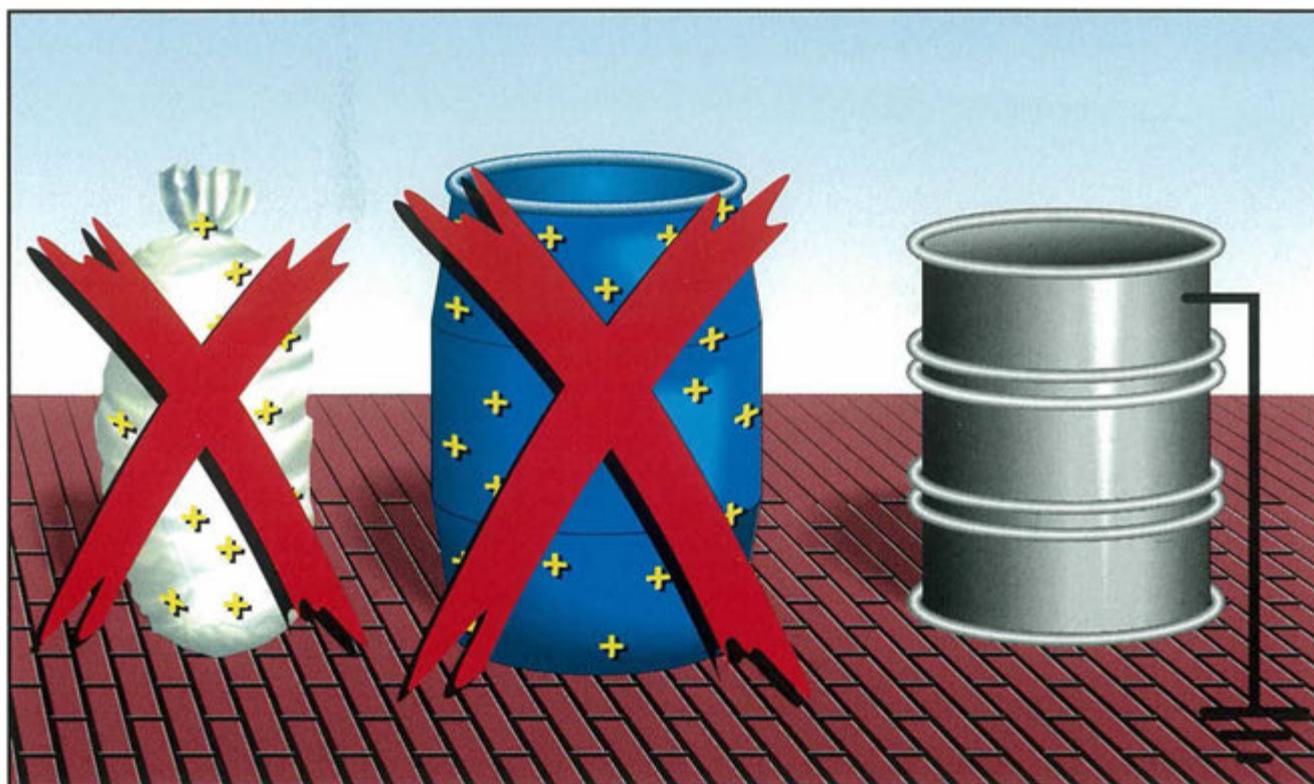


Figure 24 : Utilisation d'emballages conducteurs reliés à la terre pour éviter les décharges en aigrette (pas de sacs ou de récipients en matière plastique)

Qu'est-ce qu'une décharge par effet corona ?

La décharge par effet corona (appelée aussi décharge en pointe) peut être considérée comme un cas particulier de décharge en aigrette. Lorsque le rayon de courbure de l'électrode mise à la terre et placée dans un champ électrique intense est très faible (< 1 mm), le champ n'est perturbé qu'au voisinage immédiat de la pointe de l'électrode. Il en résulte une décharge très faible, limitée à ce voisinage immédiat et qui, dans la plupart des cas, se produit en continu. Il n'est pas nécessaire de donner davantage de détails sur ce type de décharge puisque, dans les mêmes conditions et en mettant les choses au pire, il peut se produire des décharges en aigrette d'énergie bien supérieure.

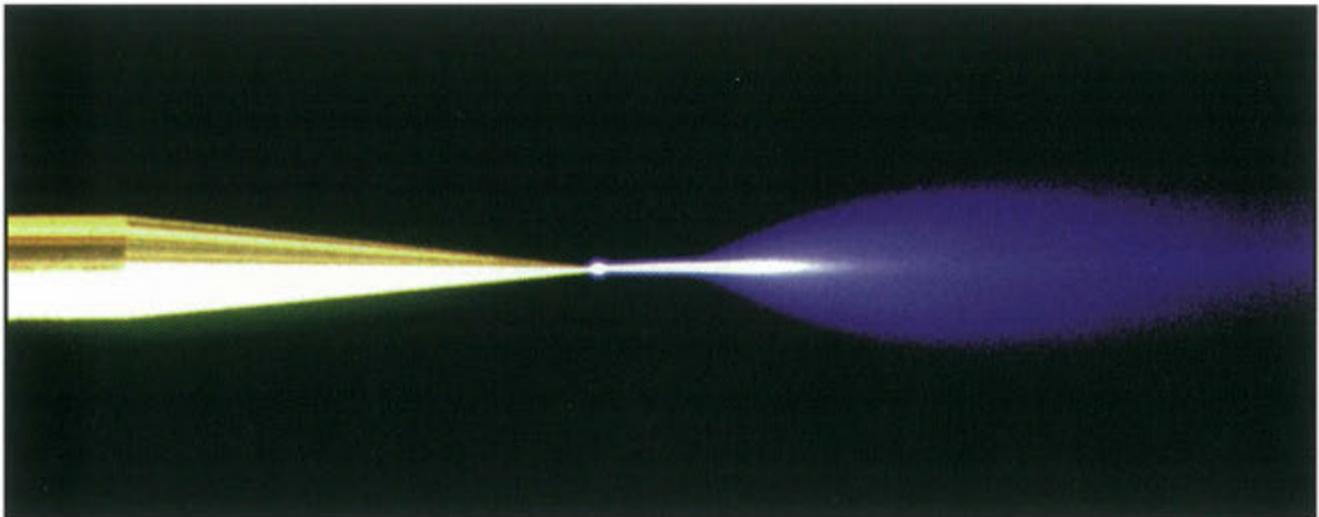


Figure 25: Décharge par effet corona (photographie)

Qu'est-ce qu'une décharge glissante (ou rampante) de surface ?

Une décharge glissante de surface est une décharge qui se produit le long de la surface d'une mince couche isolante portant sur ses deux faces de très fortes charges égales et de signe opposé. L'isolant peut être soit une couche mince indépendante mais plaquée sur un conducteur, soit le revêtement d'une surface métallique.

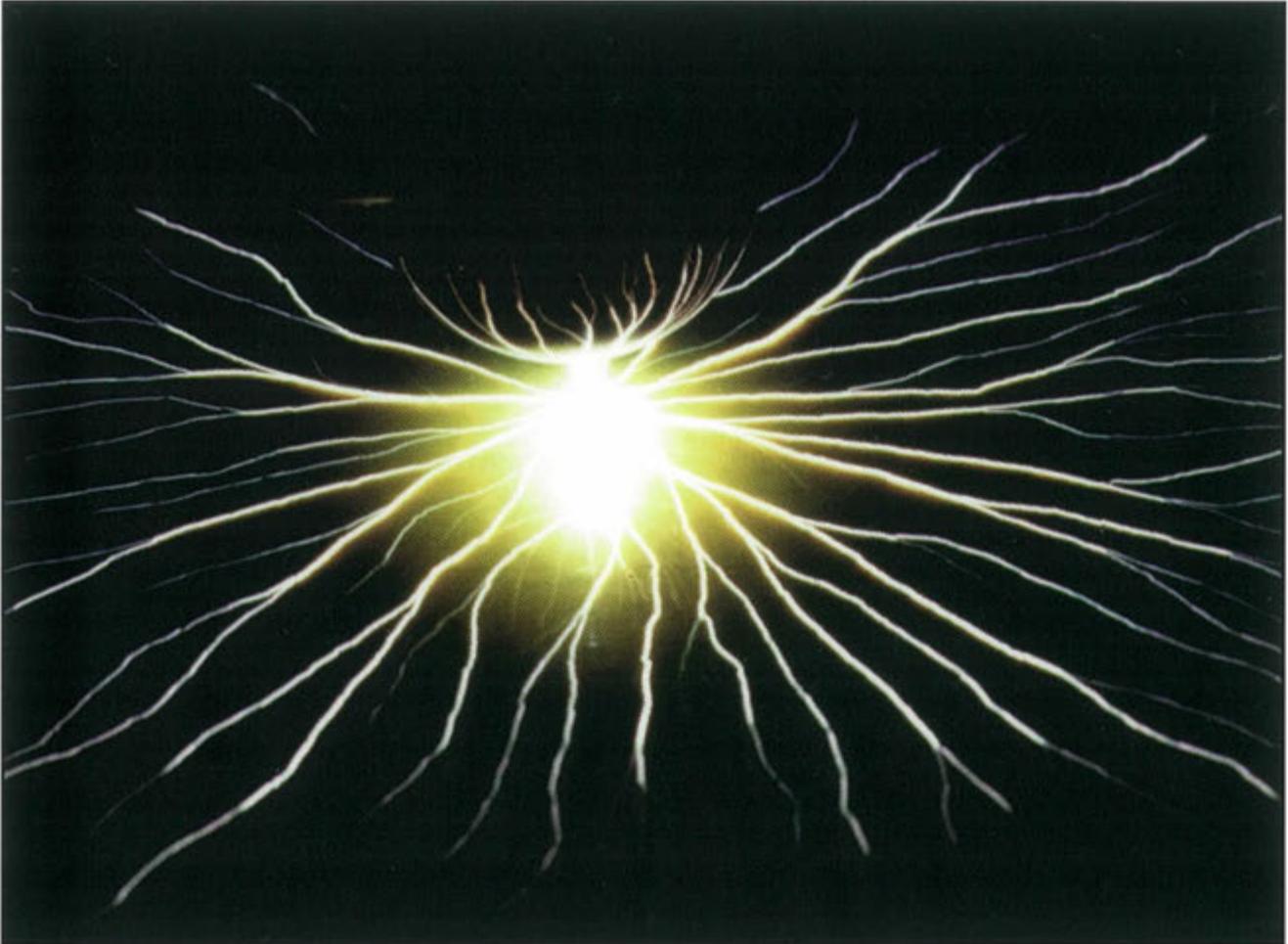


Figure 26: Décharge glissante de surface (photographie)

Quand les décharges glissantes de surface se produisent-elles ?

Il faut pour cela des processus d'électrification, associés à des vitesses de contact/séparation élevées et à des matériaux isolants à haute résistance diélectrique (haute rigidité diélectrique). Ces éléments peuvent se trouver réunis, par exemple, lors des opérations suivantes :

- transport pneumatique à grande vitesse de poussières dans une canalisation isolante ou dans une canalisation conductrice à revêtement intérieur isolant
- transport à grande vitesse de liquides isolants dans une canalisation isolante ou dans une canalisation conductrice à revêtement intérieur isolant
- impact prolongé de particules sur une surface en matériau isolant ou sur une surface métallique à revêtement isolant (par exemple dans un séparateur de poussières, ou sur le cockpit d'un avion qui traverse un nuage chargé de particules de glace ou de poussières)
- rotation rapide de bandes transporteuses ou de courroies de transmission isolantes ou portant un revêtement conducteur sur une face
- remplissage de grands conteneurs ou de silos en matériaux isolants avec un produit isolant fortement chargé.

Lors des processus de contact/séparation résultant d'une action manuelle (telle que l'essuyage d'une surface isolante ou le vidage d'un sac en matière plastique contenant une poudre), la densité de charge superficielle n'atteint généralement pas les valeurs très élevées qui sont nécessaires à l'apparition d'une décharge de surface.

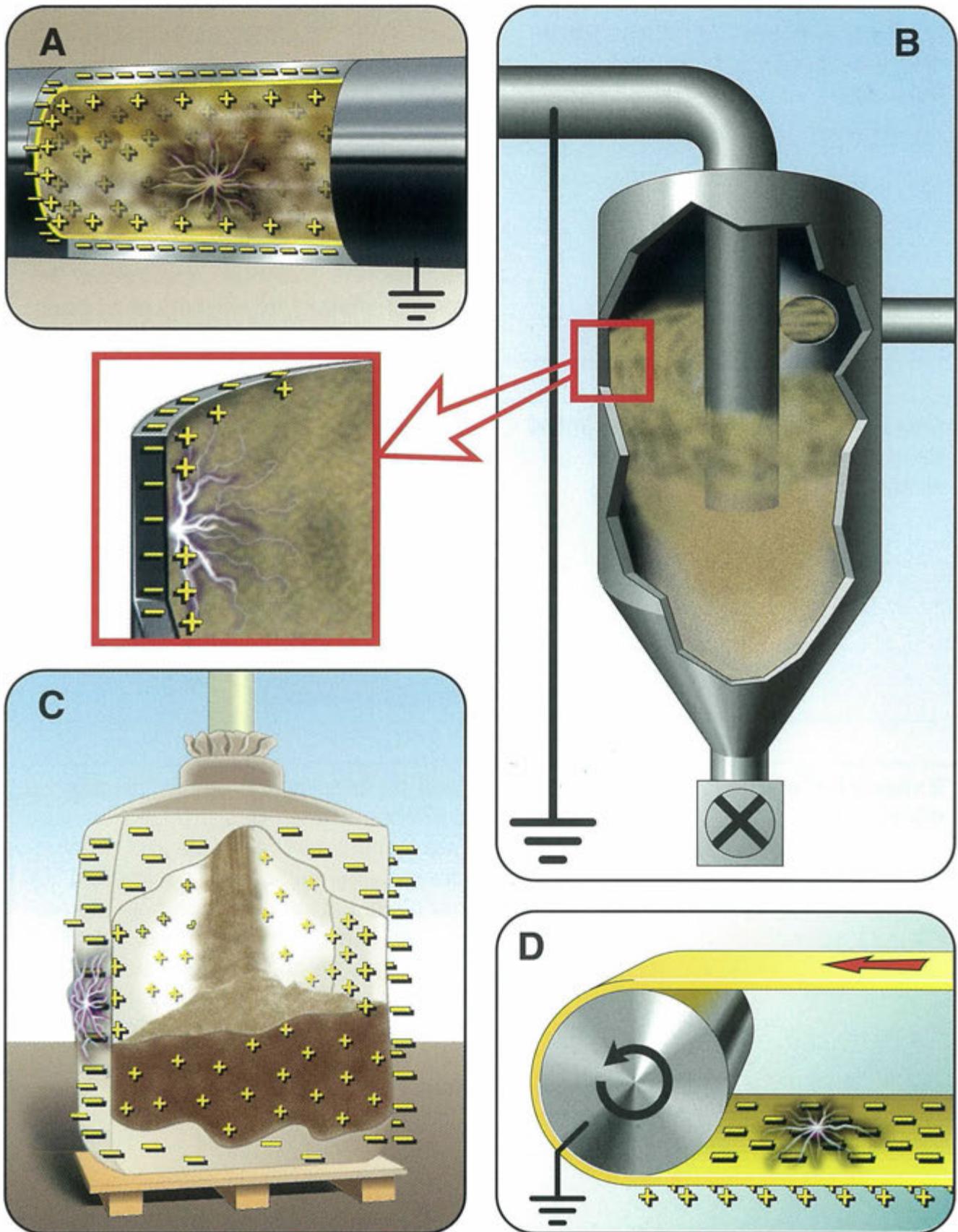


Figure 27: Exemples de décharges glissantes de surface

A: Dans une canalisation à revêtement intérieur isolant

B: Dans un séparateur de poussières à revêtement intérieur isolant

C: Dans un conteneur isolant pour produit en vrac

D: Sur une bande transporteuse isolante à rotation rapide

Quel est le pouvoir d'inflammation d'une décharge glissante de surface ?

Lors d'une telle décharge, une grande partie de l'énergie totale accumulée est libérée. L'énergie accumulée peut être calculée selon les formules applicables aux condensateurs plans. Pour des surfaces chargées de $0,1 \text{ m}^2$, cette énergie peut atteindre plusieurs joules. Ces décharges sont donc susceptibles d'enflammer les mélanges explosibles air-gaz, air-vapeurs de solvants et air-poussières.

Comment les décharges glissantes de surface peuvent-elles être évitées ?

Les décharges glissantes de surface peuvent être évitées par l'utilisation de matériaux conducteurs ou de faible résistance diélectrique. Des couches isolantes (revêtement d'une surface métallique ou couche indépendante) ayant une tension de claquage inférieure à 4 kV peuvent être admises, car aucune décharge glissante de surface ne peut s'y produire.

Existe-t-il d'autres types de décharge ?

Lors du remplissage de grands silos ou conteneurs avec des produits en vrac très isolants (par exemple lors du chargement pneumatique de polymères), il a parfois été observé, à la surface du produit en vrac, des décharges appelées décharges de cône. L'étude de l'apparition de ces décharges et l'évaluation de leur pouvoir d'inflammation nécessitent des connaissances techniques particulières.

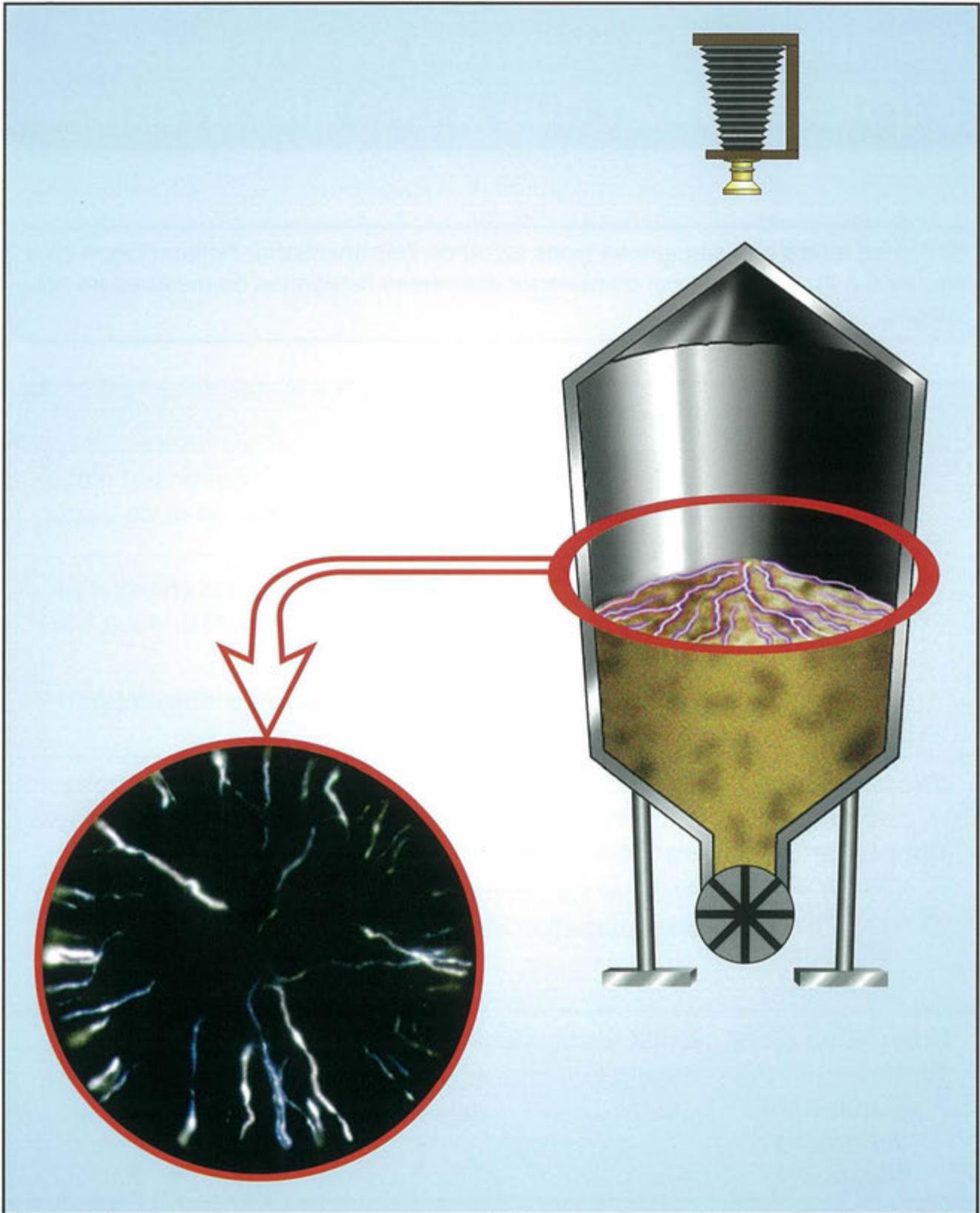


Figure 28: Décharges de cône (photographie)

Mesures de prévention des risques d'inflammation dus à une électrisation

Si l'on se réfère aux séquences types allant de l'électrisation à l'inflammation (voir figures 5 à 7), il est possible d'envisager différentes catégories de mesures de prévention.

Objectif	Mesures
Prévention des électrisations importantes (figure 29)	<p>Maintenir de faibles niveaux d'électrisation par limitation de toutes les vitesses de séparation et de transport</p> <p>Favoriser l'écoulement sans danger des charges par l'utilisation de matériaux conducteurs et la mise à la terre</p> <p>Neutraliser la charge par l'utilisation d'ionisateurs actifs ou passifs</p>
Prévention des décharges constituant une source d'inflammation efficace (figure 30)	<p>Apprécier le pouvoir d'inflammation des décharges pouvant se produire et l'inflammabilité des mélanges explosibles pouvant être présents</p> <p>Éliminer les décharges constituant une source d'inflammation efficace</p>
Prévention de la formation d'une atmosphère explosible (figure 31)	<p>Éviter les concentrations explosives de combustibles, réduire la teneur en oxygène (mise à l'état inerte)</p>
Limitation des effets d'une explosion à un niveau acceptable (figure 31)	<p>Limiter les effets des explosions par des mesures de conception (par exemple décharge des pressions d'explosion, suppression des explosions)</p>

Tableau 3: Mesures de prévention

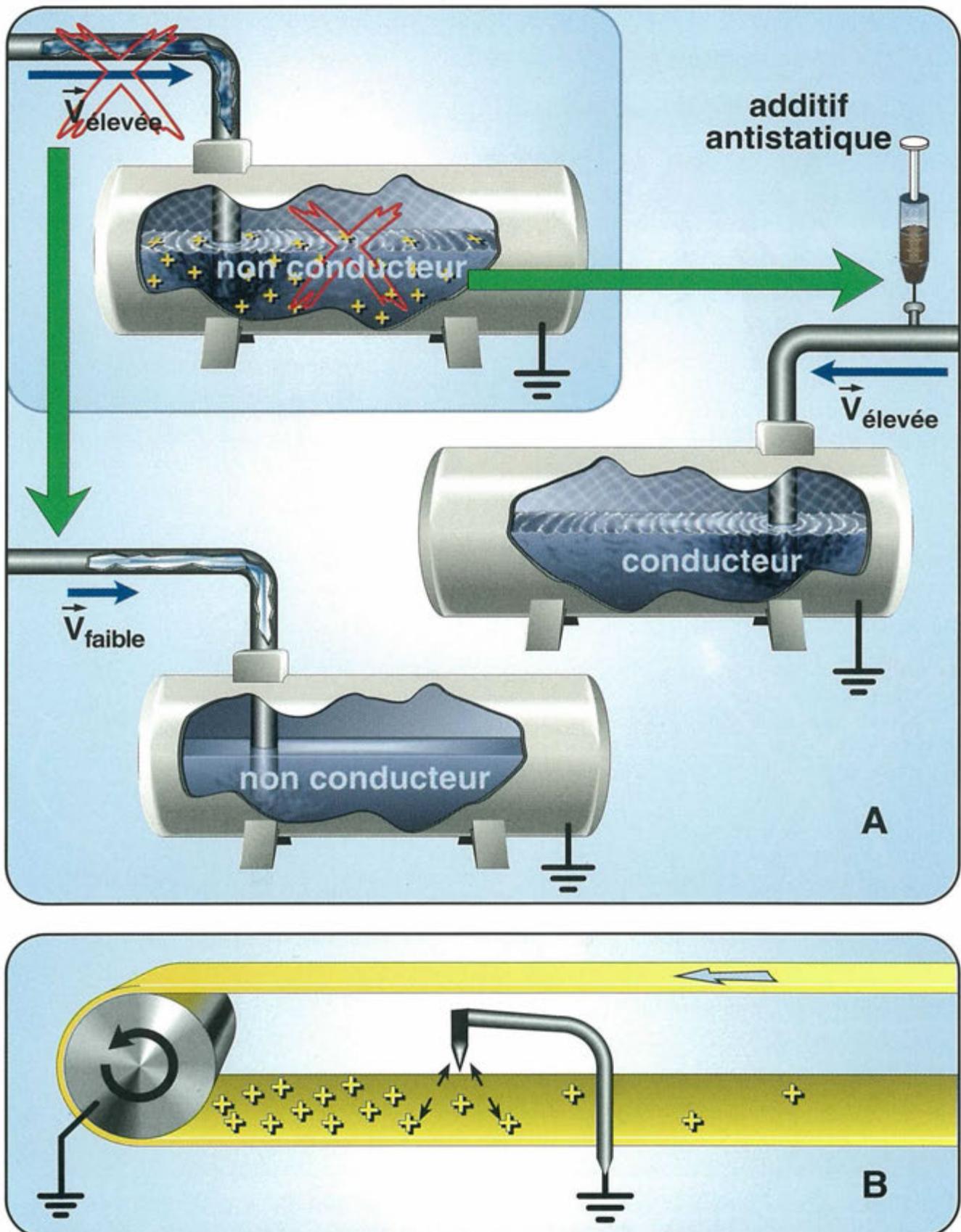


Figure 29: Exemples de mesures permettant de prévenir une électrisation importante
 A: Dans le cas de liquides non conducteurs, élévation de la conductivité par adjonction d'additifs ou par limitation de la vitesse d'écoulement
 B: Dans le cas de la surface de solides isolants, neutralisation des charges

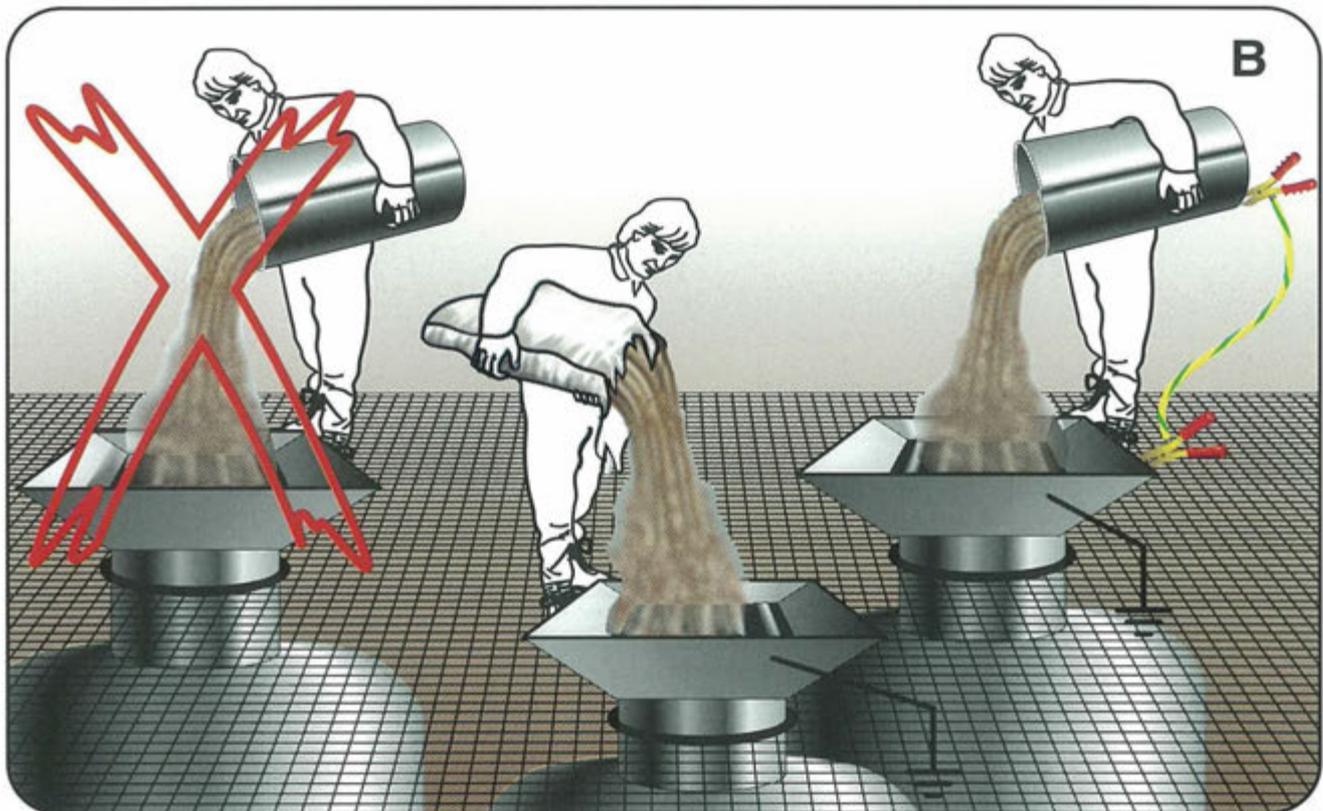
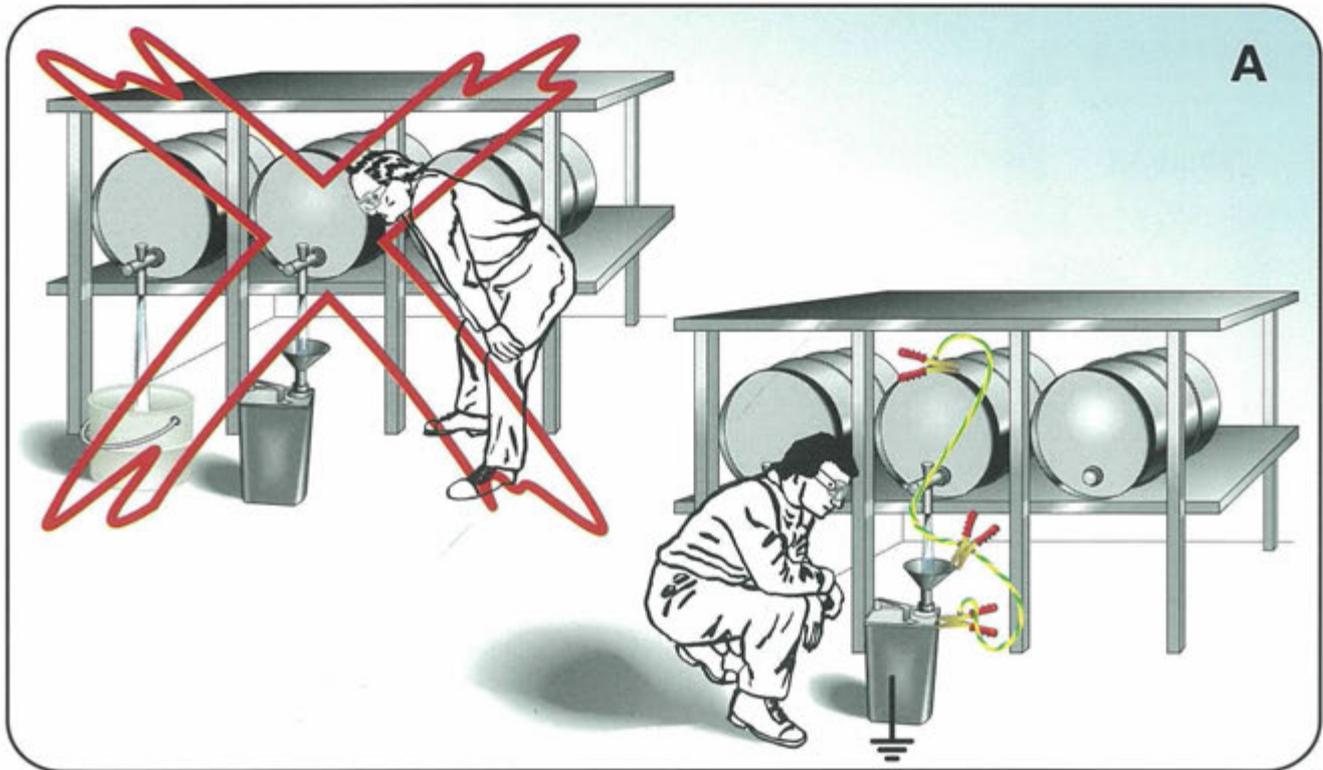


Figure 30: Exemples de prévention des décharges constituant une source d'inflammation efficace A: Transvasement de liquides inflammables: utilisation exclusive d'emballages conducteurs et raccordés à la terre B: Chargement de poussières combustibles: mise à la terre de toutes les parties conductrices; l'utilisation de petits emballages en matière plastique (sacs, fûts, récipients pour produits en vrac, etc.) est autorisée en l'absence de gaz ou de vapeurs inflammables

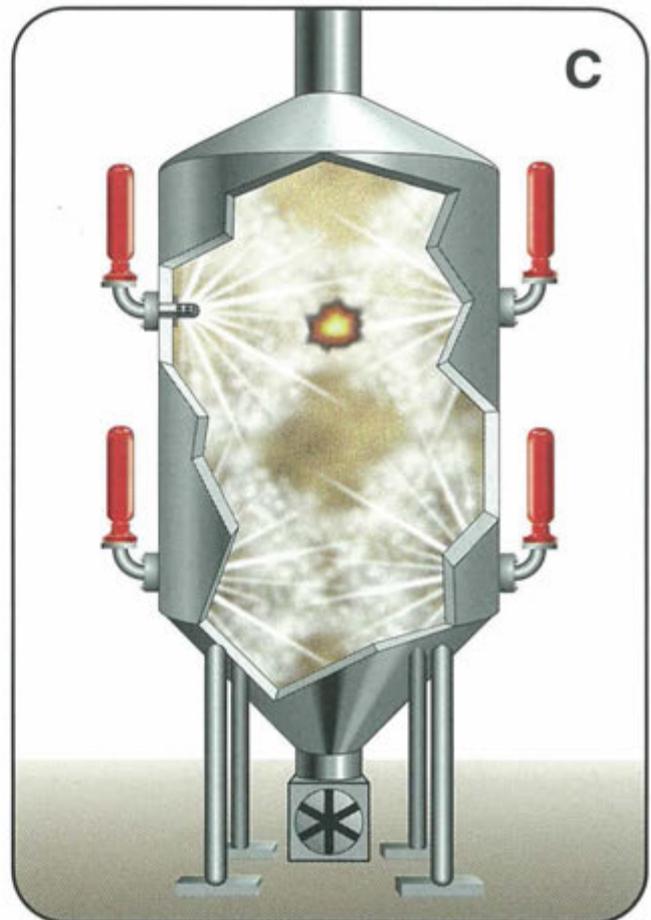
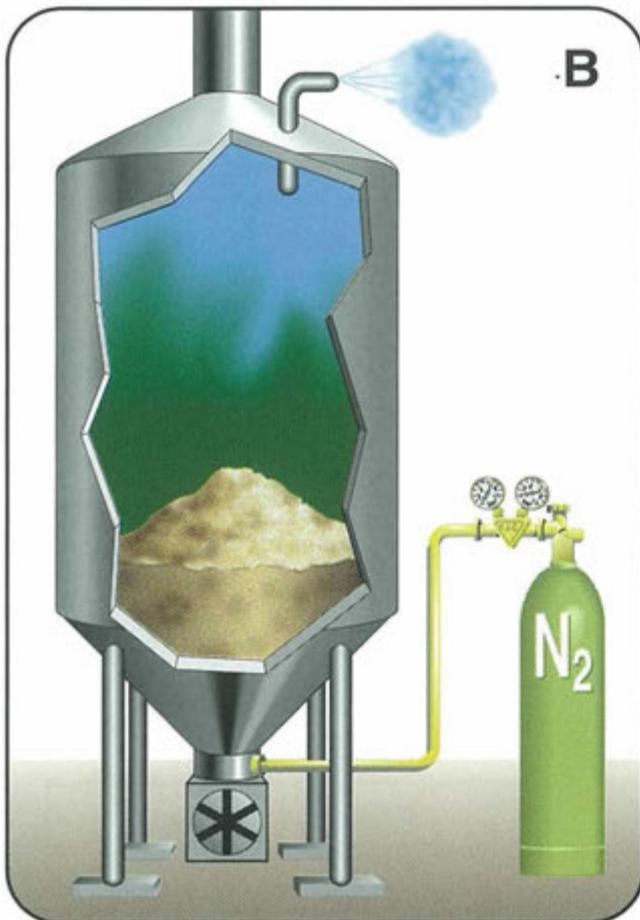
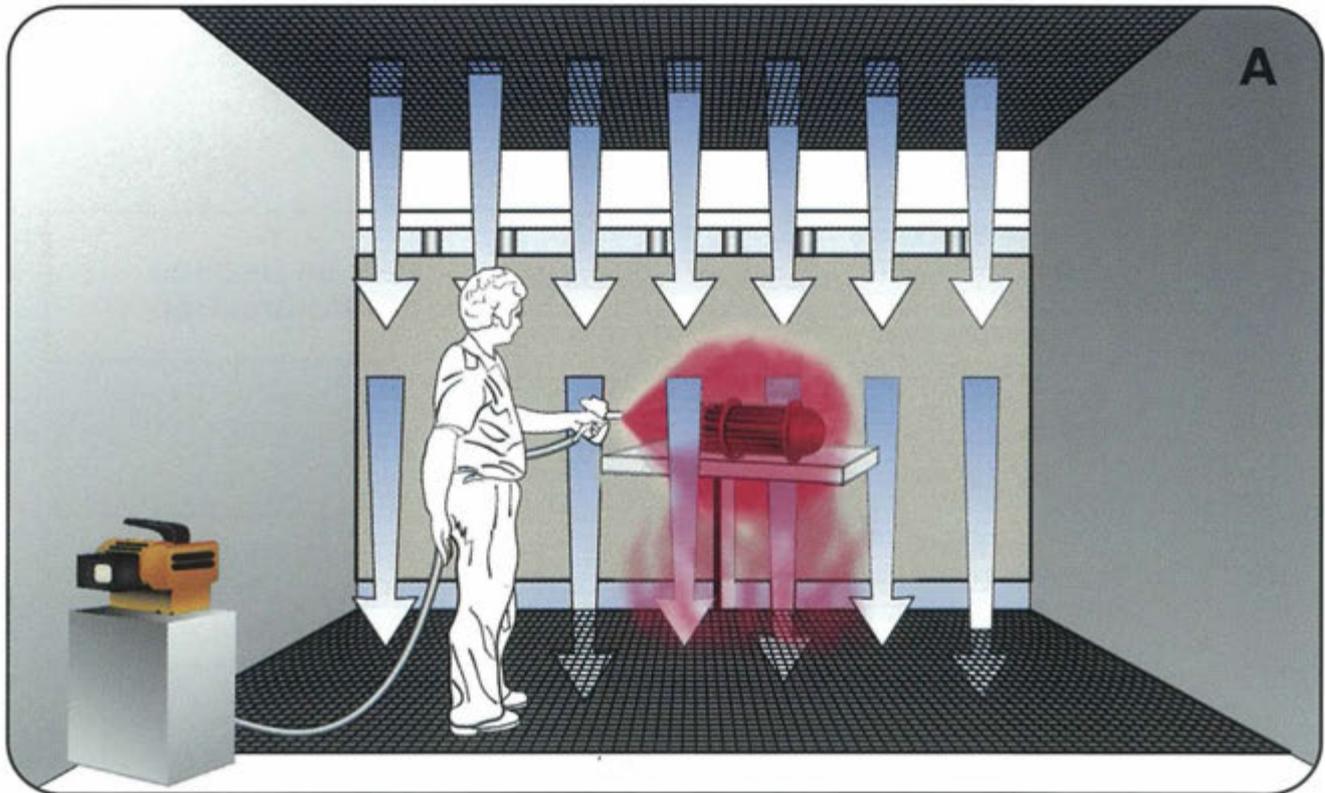
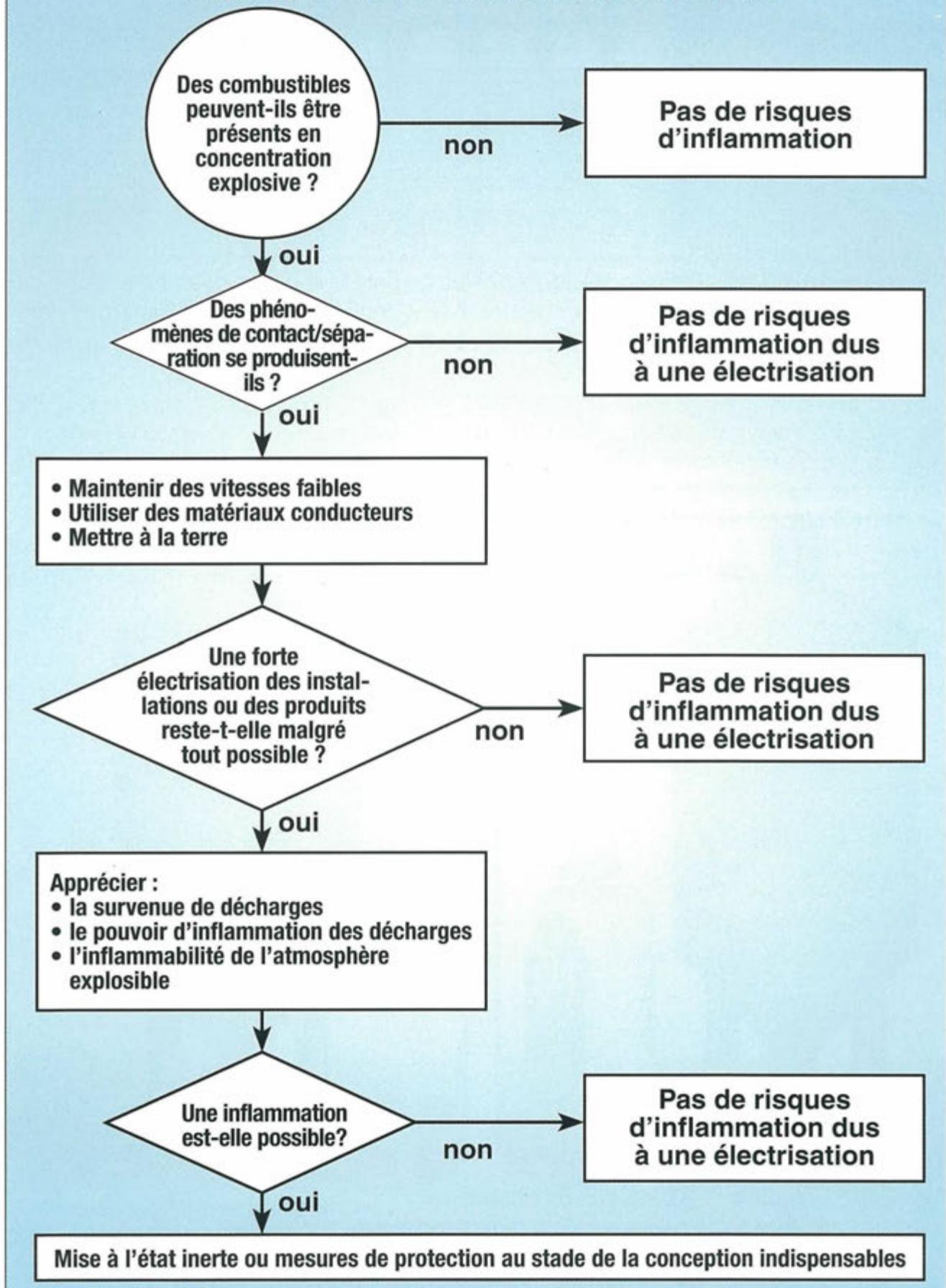


Figure 31 : Exemples de mesures de protection

- Prévention de la formation d'atmosphères explosibles
A: Ventilation B: Mise à l'état inerte
- Mesure de conception C: Suppression des explosions

Arbre des décisions pour l'appréciation des risques d'inflammation dus à une électrisation



Manipulation des gaz et liquides inflammables

Pour déterminer les risques engendrés par les gaz et les liquides inflammables, ainsi que les mesures de prévention à prendre, il faut connaître les caractéristiques des produits manipulés (conductivité, point d'éclair des liquides), ainsi que l'énergie minimale d'inflammation des mélanges formés avec l'air.

Les recommandations ci-après constituent des exemples de mesures applicables pour la prévention des risques d'inflammation dus à une électrisation. Dans la pratique, il peut être nécessaire de compléter ou de remplacer ces mesures par d'autres mesures adaptées aux différentes situations concrètes. Toute référence à des valeurs limites a été délibérément évitée, puisque ces valeurs peuvent varier d'un pays à l'autre.

Lors de la manipulation de liquides inflammables en présence d'air, il faut toujours s'attendre à la formation d'atmosphères explosibles si la température de travail est supérieure au point d'éclair du liquide.

Quand et comment le risque apparaît-il ?

- Les liquides inflammables peuvent donner lieu à la formation de mélanges air-vapeurs explosibles lorsque la température n'est pas suffisamment inférieure au point d'éclair (voir la brochure AISS «Explosions de gaz»).
- En cas de pulvérisation, les liquides inflammables peuvent donner lieu à la formation d'une atmosphère explosive même à des températures inférieures au point d'éclair.
- Les gaz inflammables peuvent donner lieu à la formation de mélanges air-gaz explosibles (figure 2).
- L'écoulement, le transvasement, l'agitation ou la pulvérisation d'un liquide peuvent entraîner une très forte électrisation du liquide lui-même ou de parties d'installation, de récipients, etc. (figure 32).

L'électrisation d'un liquide peut devenir extrêmement forte en cas d'adjonction d'une quantité même faible de solides non solubles (suspensions) ou de liquides non miscibles (émulsions) (figure 33).

Lorsqu'ils ne contiennent pas d'impuretés, les gaz ne s'électrisent pas par écoulement. En conditions réelles, toutefois, les gaz comportent souvent des impuretés (particules solides ou gouttelettes) susceptibles d'être électrisées (figure 34).

Une forte électrisation peut être provoquée par des processus secondaires tels que la marche, le frottement à la surface d'un isolant, le mouvement d'une bande transporteuse, etc. (figures 8 et 35).

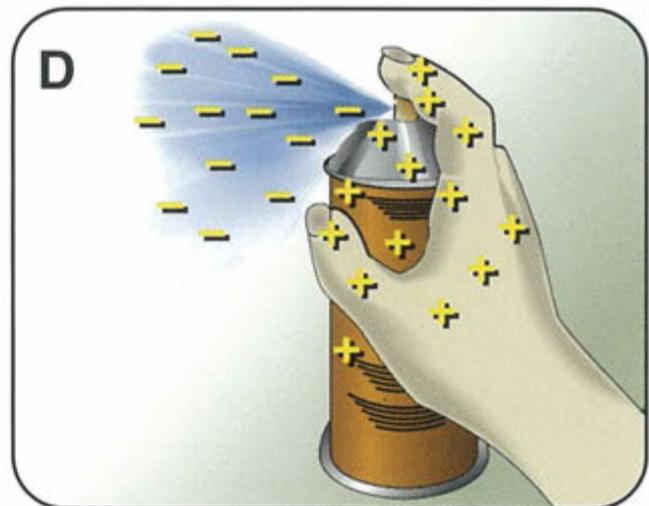
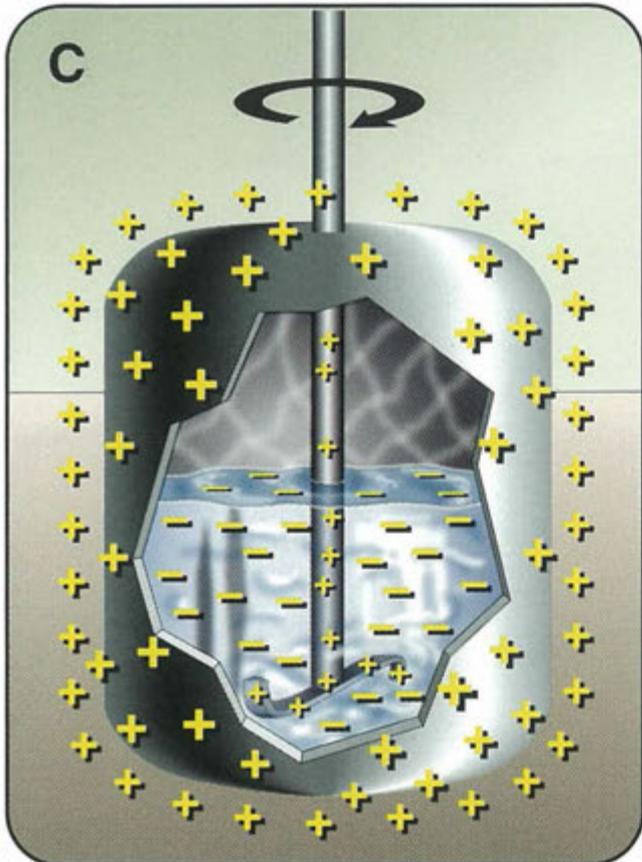
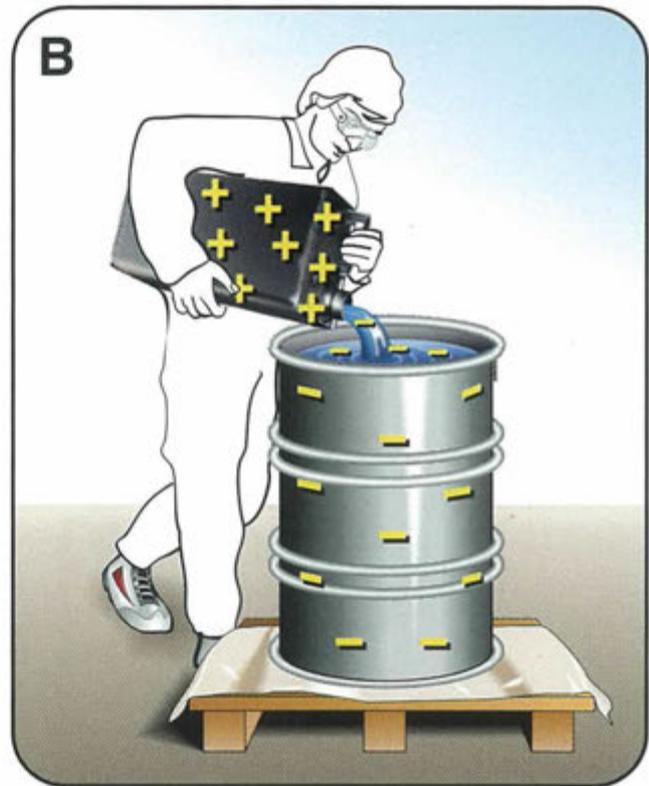
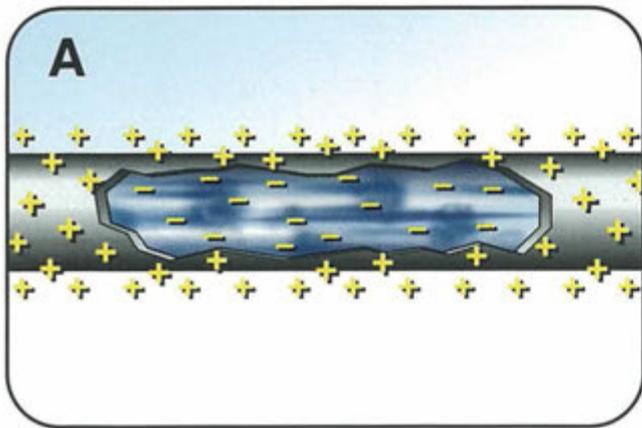


Figure 32: Exemples de fortes électrisations

- A: Écoulement d'un liquide non conducteur dans une canalisation (métal, verre, matière plastique)
- B: Transvasement d'un liquide non conducteur
- C: Agitation d'un liquide non conducteur
- D: Pulvérisation d'un liquide (conducteur ou non)

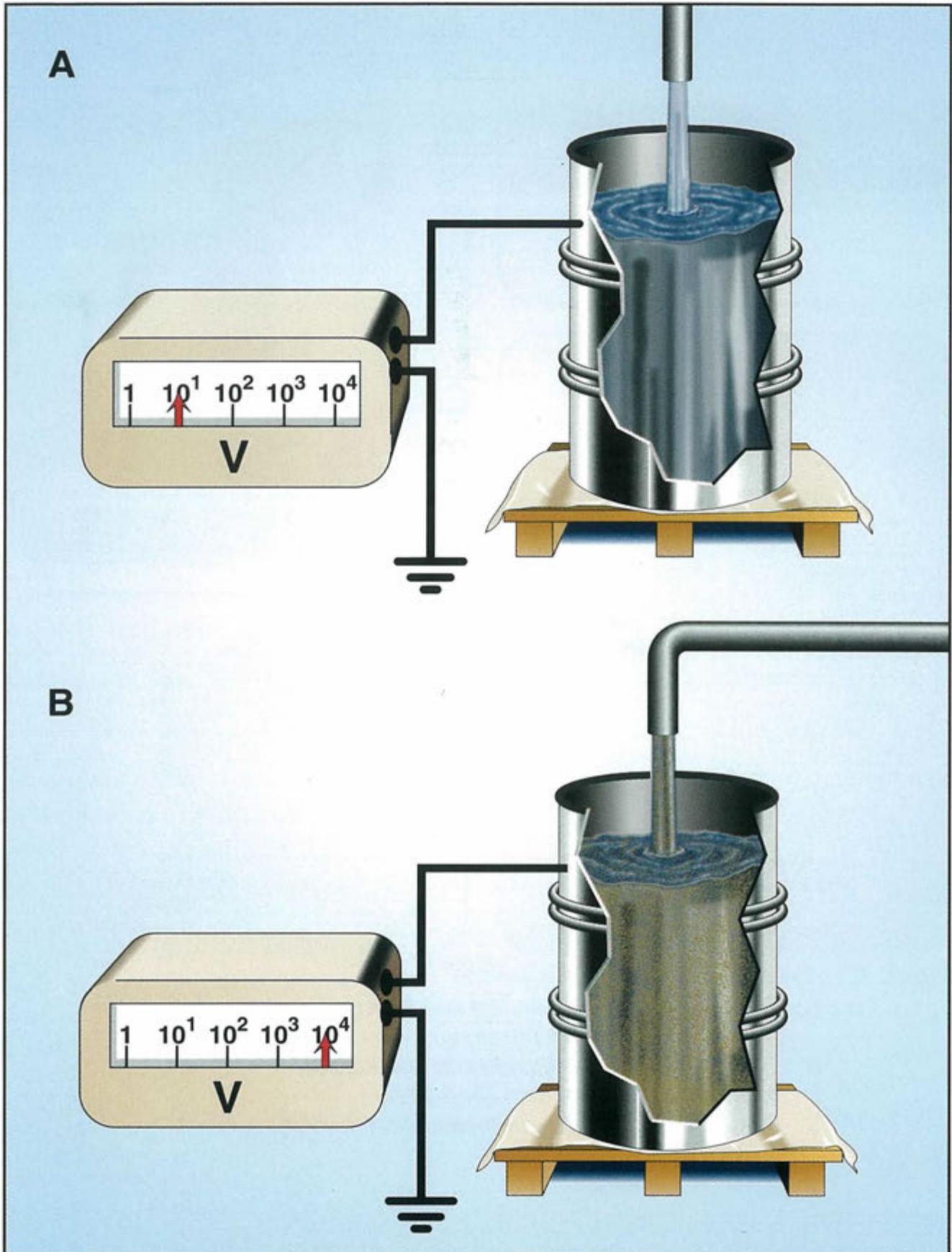


Figure 33: Renforcement de l'électrification de liquides par la présence de solides non conducteurs (suspensions)

A: Solution liquide homogène \Leftrightarrow faible électrification

B: Suspension \Leftrightarrow forte électrification

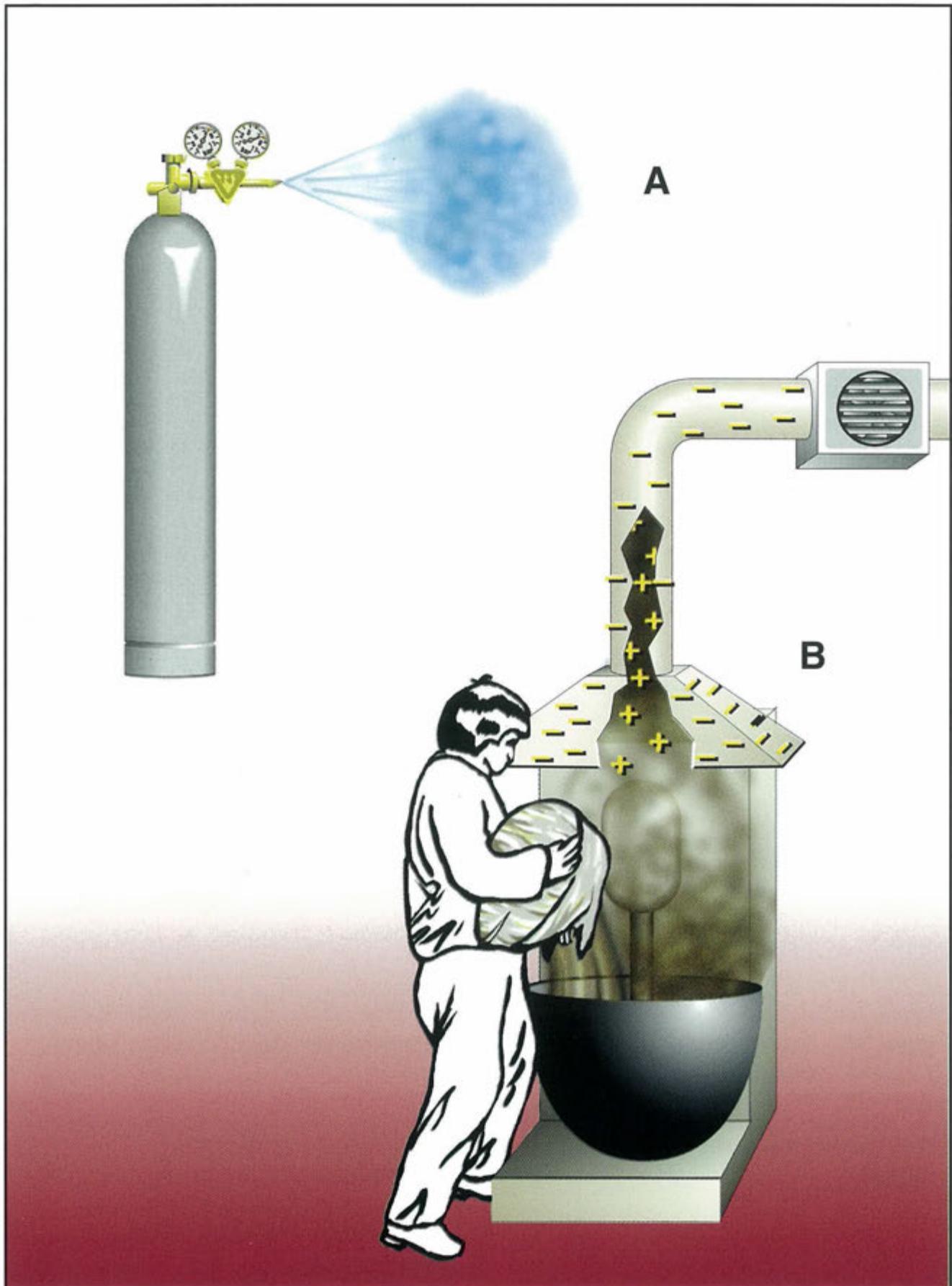


Figure 34: Écoulement de gaz (phénomène de contact/séparation)

A: Écoulement d'air exempt d'impuretés ⇔ pas d'électrisation

B: Écoulement d'air chargé d'impuretés ⇔ électrisation des poussières



Figure 35: Apparition d'une forte électrisation par frottement (phénomènes secondaires)

Quels sont les types de décharge à éviter ?

- Décharges par étincelles
- Décharges en aigrette
- Décharges glissantes de surface

Les décharges par effet corona ne doivent impérativement être évitées qu'en présence de gaz extrêmement inflammables tels que l'hydrogène, l'acétylène ou le disulfure de carbone.

Quelles sont les mesures qui ont fait leurs preuves ?

- N'utiliser que des canalisations, récipients, etc., conducteurs et mis à la terre. Les matériaux isolants ne sont admis que pour des sections ou volumes peu importants.
- Lorsque les canalisations, récipients, etc., comportent un revêtement intérieur isolant, prendre des mesures adaptées (selon l'épaisseur du revêtement, la conductivité du liquide...).
- Mettre à la terre les parties conductrices des canalisations (vannes, robinets, etc.) et des récipients (tuyaux de remplissage, agitateurs, etc.).
- Mettre à la terre les brides métalliques des tubes en verre de grand diamètre.
- Faire descendre les tuyaux de remplissage jusqu'au fond des récipients.
- Limiter les vitesses d'écoulement.
- Éviter la pulvérisation des liquides par une conception adéquate de l'extrémité des tuyaux de remplissage.
- Lors de la projection de liquides à travers une buse (nettoyage, par exemple), des mesures particulières peuvent s'imposer.
- Assurer la liaison des personnes à la terre (chaussures et sols appropriés).
- Ne pas déverser de solides dans un solvant inflammable en système ouvert (mise à l'état inerte impossible), ou déverser les produits à partir d'emballages conducteurs mis à la terre, avec liaison à la terre des personnes et des équipements (trémies, tuyaux, etc., toujours conducteurs).
- En cas de forte électrisation locale (bandes de papier...), neutraliser les charges par ionisateur actif ou passif. Les ionisateurs doivent être installés par un personnel spécialisé et ne doivent pas être utilisés en présence de gaz ou vapeurs extrêmement inflammables (hydrogène, acétylène, disulfure de carbone...).

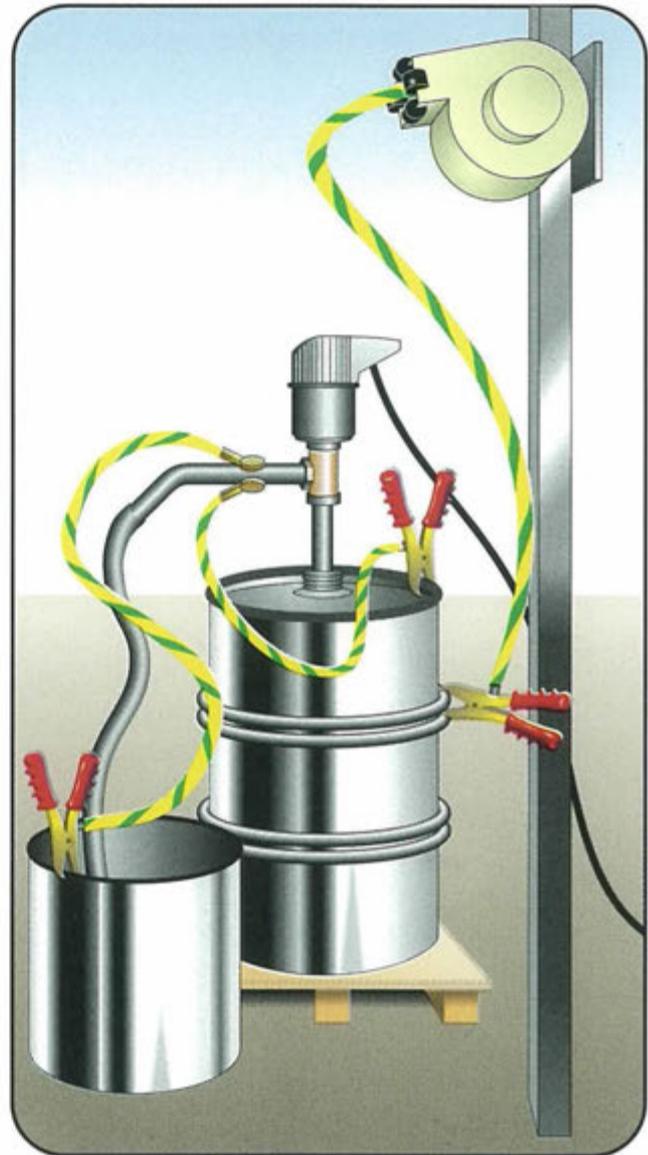


Figure 36: Exemples de mesures lors de la manipulation de liquides inflammables : N'utiliser que des récipients conducteurs et les relier à la terre pendant le transvasement. Relier à la terre toutes les parties conductrices de l'installation (même les pompes électriques portatives, par exemple) lors du transvasement. Assurer la liaison des personnes à la terre (chaussures et sols permettant l'écoulement des charges).

Les liaisons à la terre des personnes et de tous les produits, emballages et parties d'installation conducteurs sont l'une des mesures les plus importantes pour éviter de fortes électrisations dangereuses.

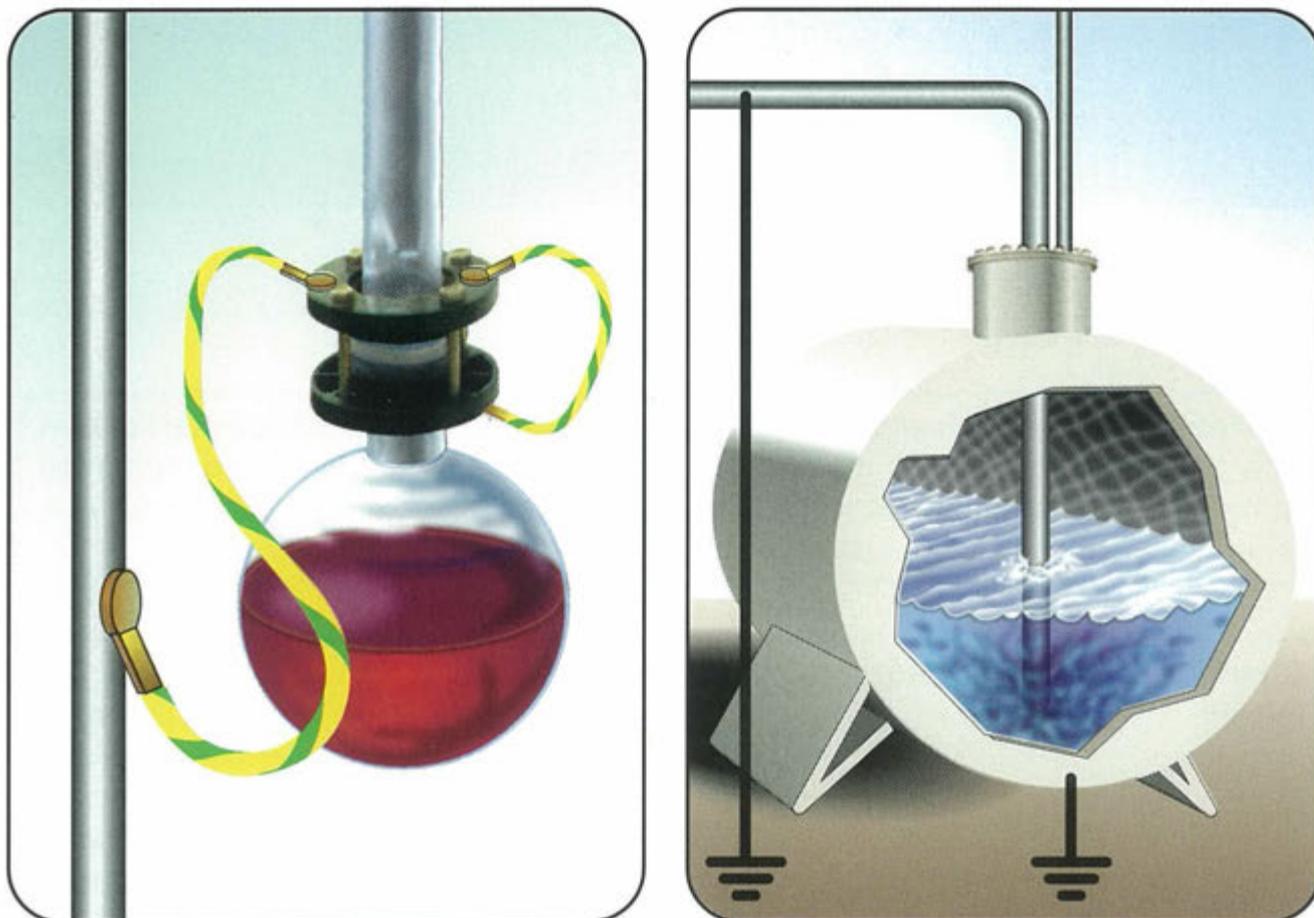


Figure 37: Exemples de mesures lors de la manipulation de liquides inflammables : Mettre à la terre les brides métalliques des canalisations en verre ou en matière plastique. Remplir les grands réservoirs ou conteneurs avec un tuyau descendu jusqu'au fond, limiter la vitesse d'écoulement, améliorer la conductivité du liquide.

Les suspensions et émulsions de liquides inflammables non conducteurs ne doivent être manipulées que sous atmosphère inerte.

Manipulation des suspensions et émulsions de liquides inflammables

Pour déterminer les risques engendrés par les suspensions et émulsions de liquides inflammables, ainsi que les mesures de prévention à prendre, il faut connaître les caractéristiques des produits manipulés (conductivité, point d'éclair), ainsi que l'énergie minimale d'inflammation du mélange air-vapeurs considéré.

Quand et comment le risque apparaît-il ?

- L'électrisation des suspensions et émulsions est en général plusieurs fois supérieure à celle des solutions liquides homogènes.
- Il est pratiquement impossible d'éviter de fortes électrisations dangereuses lors de la manipulation de suspensions et d'émulsions non conductrices, même si l'on utilise des installations conductrices mises à la terre. Pour les vitesses de transport et d'agitation, il n'existe pas de valeurs limites garantissant la sécurité.
- Or les risques liés aux suspensions et émulsions de liquides inflammables sont en fait les mêmes que ceux qui sont liés aux liquides inflammables.

Quels sont les types de décharge à éviter ?

Il faut éviter les mêmes types de décharge que lors de la manipulation des gaz et liquides inflammables. Dans le cas des suspensions et émulsions de liquides non conducteurs, toutefois, il est pratiquement impossible d'éviter les décharges en aigrette provoquées par le produit électrisé, et cela quelle que soit la conception de l'installation; des mesures de protection particulières doivent donc être prises.

Quelles sont les mesures qui ont fait leurs preuves ?

- Lors de la manipulation (centrifugation, filtrage, transport, etc.) de suspensions et d'émulsions inflammables **non conductrices**, il convient de prendre des mesures pour éviter la formation d'atmosphères explosibles : mise à l'état inerte, travail en dessous du point d'éclair, etc.
- Lors de la manipulation de suspensions et d'émulsions inflammables **conductrices**, il faut appliquer les mêmes mesures que pour la manipulation de liquides inflammables.

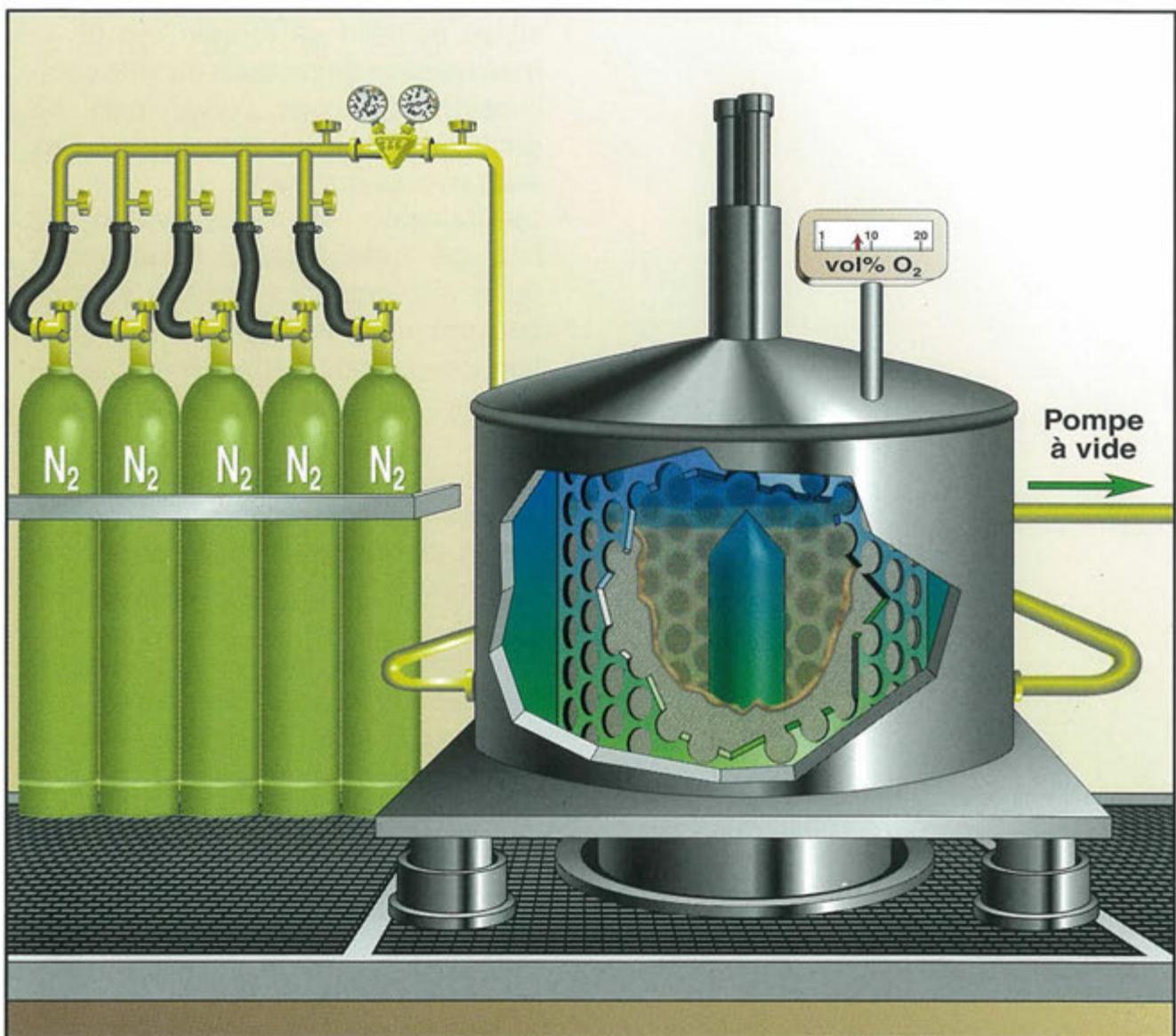


Figure 38: Mise à l'état inerte d'une centrifugeuse : exemple de mesure de protection contre les explosions lors de la manipulation de suspensions et d'émulsions de liquides inflammables

Manipulation de produits en vrac combustibles en l'absence de gaz ou de vapeurs inflammables

Pour déterminer les risques engendrés par les produits en vrac combustibles, ainsi que les mesures de prévention à prendre, il faut connaître les caractéristiques (résistivité...) des produits manipulés, ainsi que l'énergie minimale d'inflammation du mélange air-poussières considéré.

Quand et comment le risque apparaît-il ?

- Des mélanges air-poussières explosibles peuvent se former lors de la manipulation de produits en vrac combustibles (produits pulvérulents de granulométrie < 0,5 mm ou granulats avec poussières fines).
- Le transport, le transvasement, le broyage, le mélangeage, la séparation ou le tamisage des produits en vrac peuvent entraîner une forte électrisation des produits eux-mêmes ou de parties d'installation, d'emballages, etc.
- Une forte électrisation peut être provoquée par des phénomènes secondaires (déplacement d'une personne, mouvement d'une bande transporteuse).

En présence de gaz ou de vapeurs inflammables, il peut se former des mélanges hybrides. Cela doit être pris en compte lors de l'appréciation des risques (exemple de l'introduction de solides dans un solvant inflammable en système ouvert, voir p. 57).

De nombreux types de poussières ont une énergie minimale d'inflammation si faible que l'inflammation peut être provoquée par des décharges d'électricité statique.

Quels sont les types de décharge à éviter ?

- Décharges par étincelles
- Décharges glissantes de surface
- Décharges de cône

En l'état actuel des connaissances, il semble que les décharges en aigrette soient acceptables en l'absence de poussières ayant une énergie minimale d'inflammation extrêmement faible. De même, il semble que les décharges par effet corona soient acceptables.

Quelles sont les mesures qui ont fait leurs preuves dans la pratique ?

- Mettre à la terre les éléments conducteurs (récipients, appareils, etc.).
- Pour la manutention de grandes quantités de produits en vrac combustibles très isolants (volumes > 2 m³), n'utiliser que des récipients, appareils, etc., conducteurs, mis à la terre et sans revêtement intérieur isolant.
- Réaliser les conduites de transport pneumatique en matériau conducteur et les relier à la terre. Ne pas utiliser de revêtement intérieur isolant, ou uniquement des revêtements de faible rigidité diélectrique (tension de claquage $U_D < 4$ kV).
- Lors de la manipulation de produits en vrac donnant lieu à la formation de mélanges air-poussières très inflammables, assurer la liaison des personnes à la terre (chaussures et sols appropriés).
- Lors du remplissage de grands silos ou conteneurs avec des produits en vrac combustibles très isolants, la prévention des sources d'inflammation efficaces n'est pas toujours suffisante ; selon l'énergie minimale d'inflammation, la distribution granulométrique, etc., des mesures complémentaires de protection contre les explosions peuvent être nécessaires.

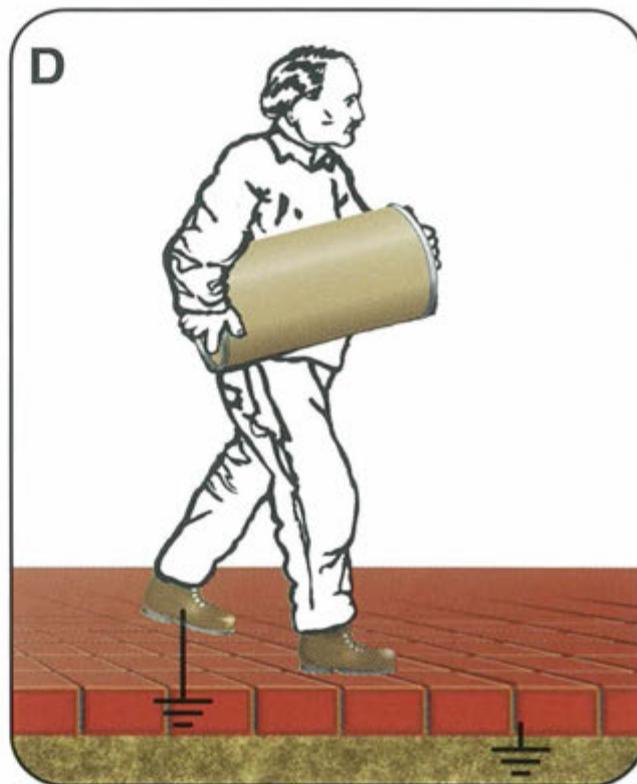
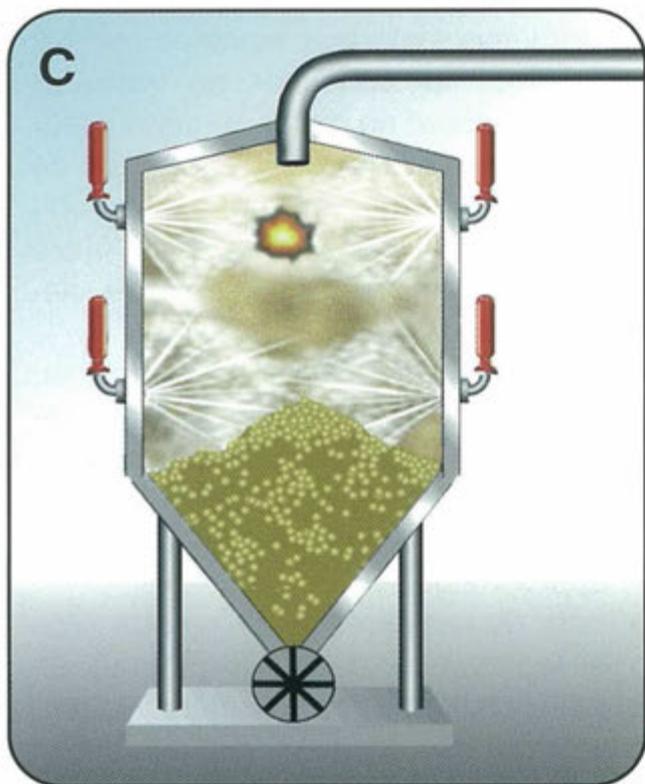
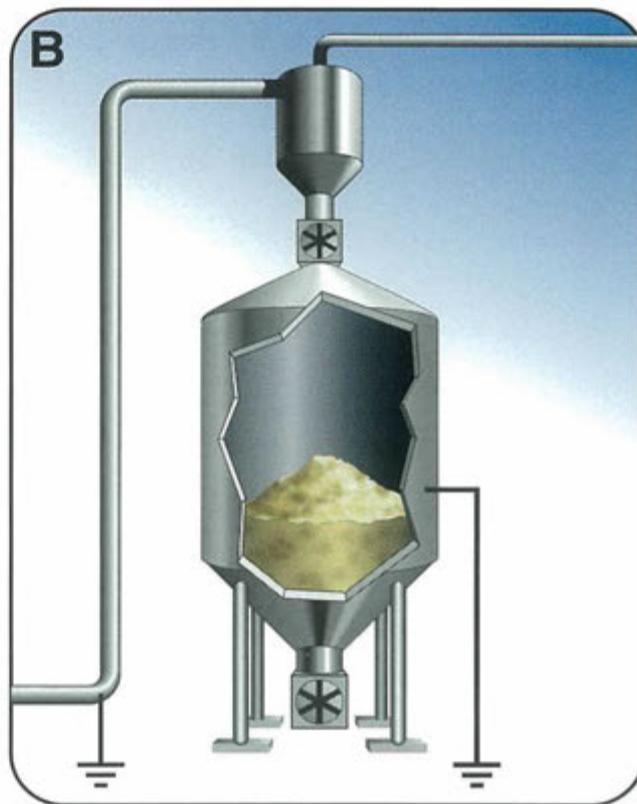
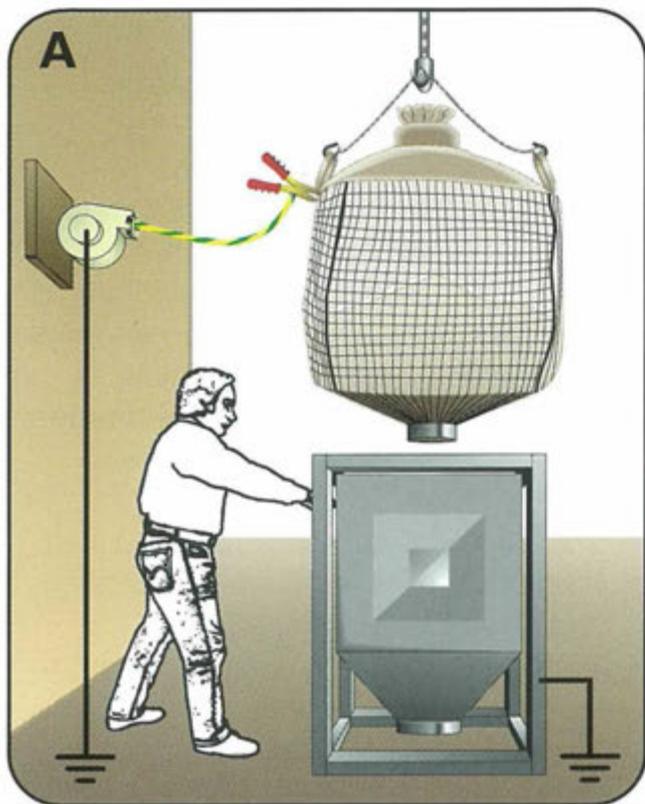


Figure 39: Exemples de mesures lors de la manipulation de poussières combustibles –
 A: Mise à la terre de tous les récipients et emballages conducteurs lors du transvasement B: Mise à la terre de toutes les parties d'installation conductrices C: Application de mesures de conception pour la protection contre les explosions (suppression des explosions, par exemple) D: Raccordement des personnes à la terre lors de la manipulation de produits en vrac très inflammables

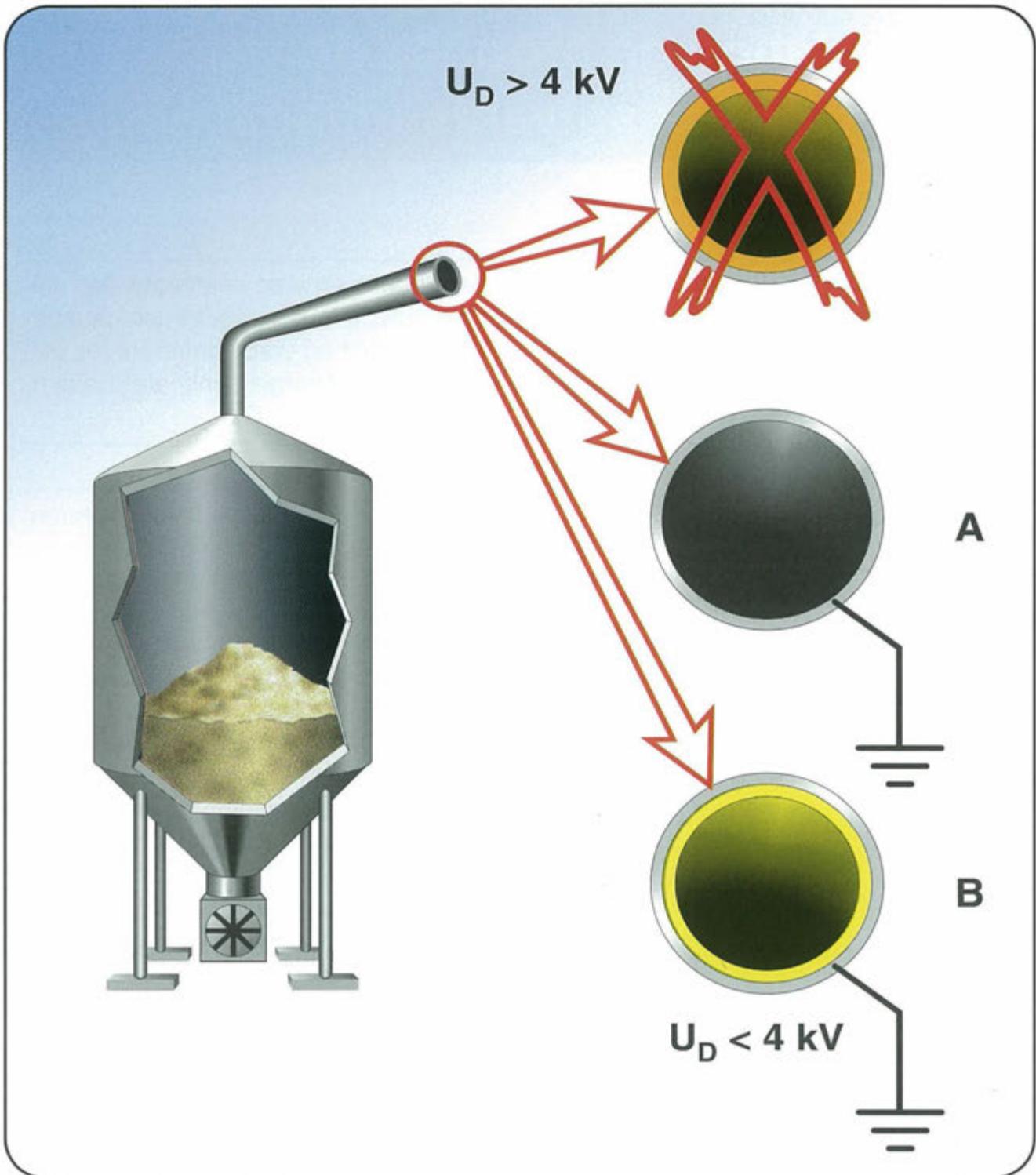


Figure 40: Exemples de mesures lors du transport pneumatique de poussières combustibles – A: Mise à la terre de toutes les parties conductrices et abandon des revêtements intérieurs isolants des canalisations B: Mise à la terre de toutes les parties conductrices et utilisation d'un revêtement intérieur de tension de claquage inférieure ou égale à 4 kV.

Les produits en vrac non conducteurs contenant des solvants ne doivent être manipulés que sous atmosphère inerte.

Manipulation de produits en vrac contenant des solvants inflammables

Pour déterminer les risques engendrés par les produits en vrac contenant des solvants, ainsi que les mesures de prévention à prendre, il faut connaître les caractéristiques des produits concernés (conductivité du produit en vrac contenant les solvants et point d'éclair du liquide inflammable), ainsi que l'énergie minimale d'inflammation du mélange air-vapeurs considéré.

Quand et comment le risque apparaît-il ?

- Lorsque le produit en vrac contenant des solvants est isolant, la présence simultanée d'une forte électrisation du produit en vrac (les produits en vrac isolants se chargent électriquement beaucoup plus que les liquides isolants) et d'un mélange explosible air-vapeurs de solvants crée un risque d'inflammation important.
- Il est pratiquement impossible d'éviter une électrisation dangereuse lors de la manipulation de produits en vrac isolants contenant des solvants, même avec des installations conductrices et mises à la terre.
- Les risques liés aux produits en vrac contenant des solvants inflammables sont en fait les mêmes que ceux qui sont associés aux liquides inflammables.

Quels sont les types de décharge à éviter ?

Éviter les mêmes types de décharge que lors de la manipulation des gaz ou liquides inflammables. Quelle que soit la conception de l'installation, les décharges en aigrette provoquées par le produit électrisé sont pratiquement inévitables, et des mesures de protection particulières s'imposent.

Quelles sont les mesures à prendre ?

- Lors de la manipulation de produits en vrac non conducteurs contenant des solvants inflammables, il faut prendre des mesures pour éviter la formation d'atmosphères explosibles (mise à l'état inerte, travail à des températures inférieures au point d'éclair, etc.).
- Lors de la manipulation de produits en vrac conducteurs contenant des solvants inflammables, il faut prendre les mêmes mesures que dans le cas des liquides inflammables.

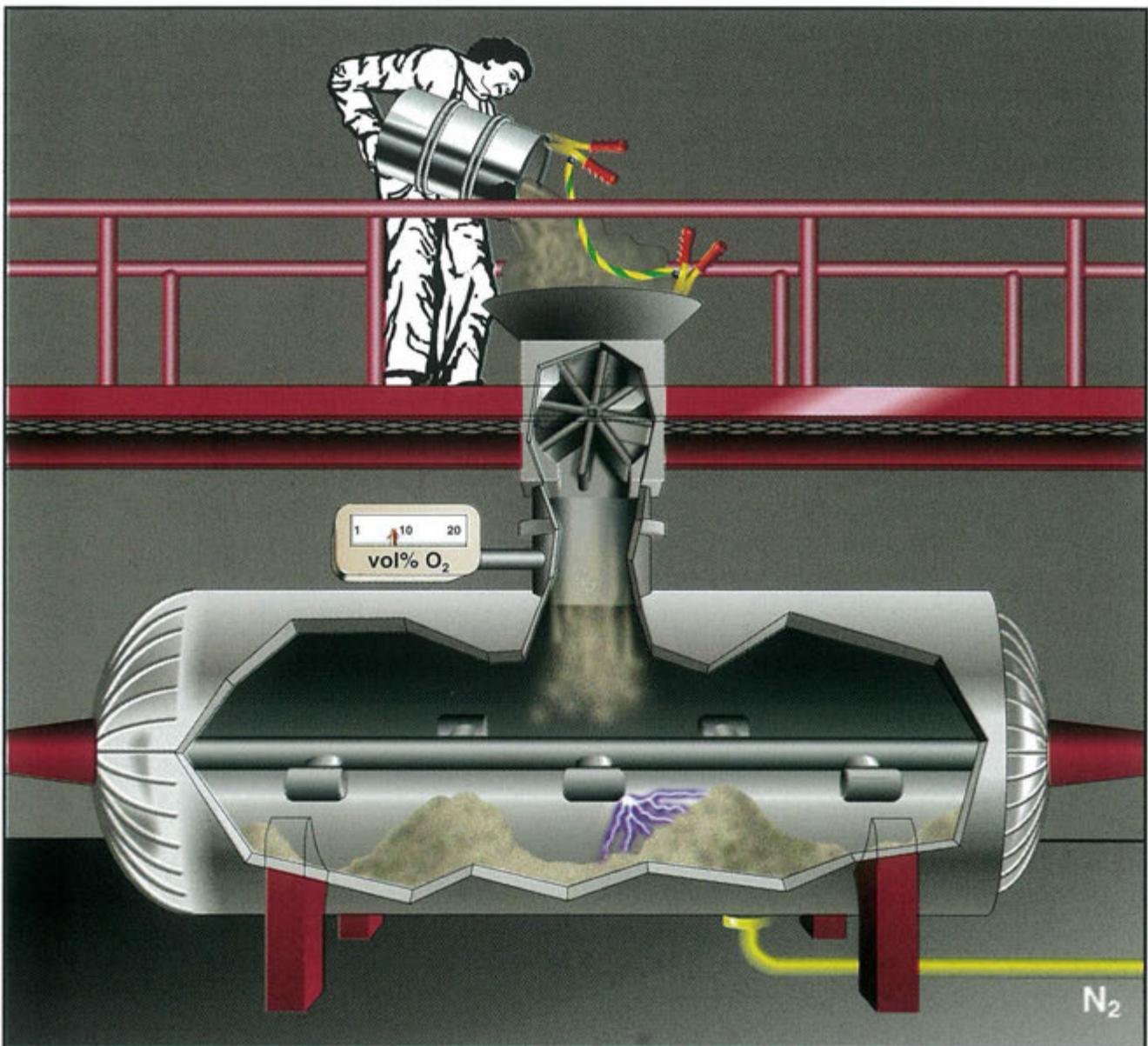


Figure 41 : Exemple de mesure de protection contre les explosions lors de la manipulation d'un produit en vrac renfermant un solvant : chargement dans un séchoir à pales tournantes en vase clos, sous atmosphère inerte

Bibliographie

Ouvrages

Lüttgens G., Glor M., Understanding and Controlling Static Electricity (Comprendre et maîtriser l'électricité statique, en anglais), Expert Verlag, Ehningen bei Böblingen, (en anglais) 1989

Lüttgens G., Glor M., Elektrostatische Aufladung begreifen und sicher beherrschen (Comprendre et maîtriser l'électricité statique, en allemand), Expert Verlag, Ehningen bei Böblingen, 3e édition entièrement refondue, 1993

Glor M., Electrostatic Hazards in Powder Handling (Risques liés à l'électricité statique dans la manipulation de produits pulvérulents, en anglais), Research Studies Press Ltd., Letchworth, Hertfordshire, 1988

L'électricité statique : risques, mesures de prévention et exemples d'application, ED 507, Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Paris, 1993

L'électricité statique en atmosphère explosive. Union des industries chimiques, 1982

Documents réglementaires et normatifs

ESCIS (Commission des Experts pour la Sécurité dans l'Industrie Chimique en Suisse), Static Electricity, Rules for Plant Safety, ESCIS Booklet 2, Suva, Sektion Chemie, Luzern, 1988

NFPA 77, Static Electricity, National Fire Protection Association, 1988

CEI 1340-4-1 - Électrostatique, 4e partie, Méthodes d'essais normalisées pour des applications spécifiques - Section 1 : Comportement électrostatique des revêtements de sols et des sols finis, 1995

EN 100-015-1 - Protection des produits sensibles aux décharges électrostatiques - Partie 1 : Règles générales, 1992

EN 100-015-2 - Protection des produits sensibles aux décharges électrostatiques - Partie 2 : Exigences relatives aux conditions de basse humidité, 1993

EN 100-015-3 - Protection des produits sensibles aux décharges électrostatiques - Partie 3 : Exigences relatives aux salles blanches, 1993

EN 100-015-4 - Protection des produits sensibles aux décharges électrostatiques - Partie 4 : Exigences relatives aux conditions de haute tension, 1993

Index

A

Accumulation des charges 12–15, **20**,
21, 22, 26, 27
Acétylène 30, 31, 56, 57
Additif antistatique 47
Agitateur 57
Agitation 52, 53, 57, 60
Atmosphère explosible
(voir aussi Mélange explosible) 13, 15,
46, 49, 50, 52, 61, 67

B

Bande transporteuse 16, 37, 42, 43,
52, 62
Bride 34
Bride métallique 57, 59
Brouillard 8, 9, 20, 37, 52
Broyage 62

C

Canal de décharge 36
Canalisation 16, 42, 43, 53, 57, 59
Canalisation en matière plastique 20, 37,
53, 59
Capacité 34
Centrifugation 61
Champ électrique 19, 27, 32, 36, 37,
39, 40

Chargement 48
Chaussures 19–21, 24, 25, 32, 33,
57, 58
Combustible 9, 29, 50
Concentration de combustible 29, 46
Condensateur 29, 34
Condensateur plan 44
Conducteur : voir Conductivité
Conductivité **18**, 19, 20–22, **23**, 36, 39,
41–44, 47, 50, 51, 53, 54, 57–61,
63–67
Conduite de transport pneumatique (voir
aussi Transport pneumatique) 63, 65
Contact/séparation 12–19, 28, 42, 50, 55
Conteneur 38, 42, 43, 44, 59
Courroie de transmission 42

D

Décharge 10, 11, **12**, 13, 15, **26**, 27–29,
31, 32, 40, 41, 44, 46, 48, 50, 56,
60, 66
Décharge de condensateur 29
Décharge de la pression d'explosion 46
Décharge en aigrette 28, 31, **36**, 37–40,
56, 60, 63, 66
Décharge de cône 31, 44, 45, 63
Décharge en éclair 31
Décharge glissante de surface 31, **41**,
42–44, 56, 63
Décharge par effet corona (Décharge
en pointe) 31, **40**, 56, 63
Décharge par étincelles 28, 31, **32**,
33–35, 56, 63

Degré d'inflammabilité 10, 29, 30, 39, 46, 50, 56, 57, 63, 64
Densité de charge 26
Densité superficielle de charge 27, 42
Densité volumique de charge 27
Déplacement de personnes : voir Marche (sur un sol)
Déroutement (feuille) 16
Déversement 37
Disulfure de carbone 30, 56, 57

E

Écoulement des charges 12–14, 23, 25, 28, 46
Écoulement (gaz) 55
Écoulement (liquide) 16, 52, 53
Efficace (source d'inflammation), efficacité (voir aussi Pouvoir d'inflammation) 10, 26, 31
Électrisation 11, 16, 19, 28, 46, 47, 50–57, 60, 62, 66
Électrisation par influence 19
Électrode 36, 37, 40
Emballage 12, 39, 48, 57, 58, 62, 64
Émulsion 20, 52, 60, 61
Énergie 10, 26, 28, 29, 31, 34, 39, 44
Énergie de décharge 34
Énergie minimale d'inflammation (EMI) 29, 30, 31, 51, 60, 62, 63, 66
Équivalent énergétique 26, 39
Essence 8, 18
Étincelle de décharge de condensateur 29
Étincelle d'origine électrique 10
Étincelle d'origine mécanique 10
Explosion 9

F

Feu 10
Feuille plastique 37
Feu Saint-Elme 37
Filtrage 16, 61

Flamme 10
Foyer d'incandescence 10
Frottement 52, 56
Fût métallique 18, 20, 21, 28, 32–34

G

Gaz (voir aussi Mélange air-gaz) 8, 9, 55, 56
Gaz inflammable 8, 9, 30, 48, 51, 52, 57, 62, 66
Gouttelettes 8, 9, 20, 37, 52

H

Hampe de drapeau 37
Heptane 18
Hexane 18
Hydrocarbure 18
Hydrogène 30, 31, 56, 57

I

Inflammation (voir aussi Degré d'inflammabilité, Efficace(source d'inflammation), Pouvoir d'inflammation) 13, 15, 29, 31, 39, 46, 50
Influence : voir Électrisation par influence
Intensité de champ électrique 11, 26, 27
Intervalle de décharge 32
Introduction en système ouvert 57, 62
Ionisateur actif 46, 57
Ionisateur passif 46, 57
Isolant : voir Conductivité

J

Jauge de niveau 37

L

Liaison à la terre 12
Liquide 8, 16, 18, 20, 23, 32, 33, 37, 38, 42, 47, 48
Liquide inflammable 48, 51–54, 57–61, 66–67

M

Manche filtrante 22, 37
Marche (sur un sol) 16, 52, 62
Matière plastique : voir Canalisation en matière plastique, Récipient en matière plastique, Sac en matière plastique
Mélangeage 62
Mélange air-gaz 34, 39, 44, 52
Mélange air-poussières 9, 30, 31, 34, 37, 38, 39, 44, 48, 62, 63, 64, 65
Mélange air-vapeurs 8, 30, 34, 39, 52, 60, 66
Mélange explosible 8, 9, 10, 29–31, 34, 46
Mélange hybride 30, 62
Mesure de conception 46, 49, 50, 64
Mise à la terre 25, 34, 35, 46, 48, 57–59, 63–65
Mise à l'état inerte 46, 49, 50, 57, 61, 67

N

Neutralisation des charges 46, 47, 57
Non conducteur : voir Conductivité

O

Oxygène 9, 46

P

Particules : voir Poussières
Personne 12, 19–21, 32–34, 57, 58, 62–64
Point d'éclair 51, 52, 60, 61, 66, 67
Polychlorure de vinyle (PVC) 18
Polyéthylène (PE) 18
Polymère 44
Polypropylène (PP) 18
Polytétrafluoroéthylène (PTFE) 18
Pompe électrique portative 58
Poudre métallique 20
Poussières (voir aussi Mélange air-poussières) 8, 9, 20, 31, 34, 37, 38, 39, 42, 44, 48, 55, 62, 63, 64, 65
Pouvoir d'inflammation (voir aussi Efficace (source d'inflammation) 26, 28, 31, 44, 46, 48, 50
Prise d'échantillon 37
Produit en vrac 16, 18, 20, 22, 38, 43, 44, 62, 63, 66, 67
Projection à travers une buse 16, 57
Pulvérisation 16, 52, 57

R

Rayon de courbure (électrode) 36, 40
Récipient 16, 34, 37, 52, 57, 58, 63
Récipient en matière plastique 18, 21, 32, 33, 37, 39, 48
Remplissage (voir aussi Transvasement) 44, 63
Résistance d'écoulement à la terre (= Résistance d'isolement) 23, 24, 25
Résistance diélectrique (= Rigidité diélectrique) 42, 44, 63
Résistance d'isolement (= Résistance d'écoulement à la terre) 23, 24, 25
Résistance électrique 18, 23
Résistance superficielle 23, 24, 25
Résistance transversale 23, 24
Résistivité 23, 24, 25, 62
Revêtement 41, 44

Revêtement intérieur isolant 42, 43, 57, 63, 65
Rigidité diélectrique (= Résistance diélectrique) 42, 44, 63
Risque d'explosion 8
Risque d'inflammation 11, 46, 50, 51, 66
Robinet 57

S

Sac 16
Sac en matière plastique 19, 20, 37, 39, 48
Séchoir à pales tournantes 67
Sécurité des personnes 25
Séparateur de poussières 42, 43, 62
Silo 37, 42, 44, 63
Sol 16, 20, 25, 57, 58, 63
Solvant (voir aussi Vapeurs de solvants) 57, 62, 65, 67
Source d'inflammation 9, 10, 31
Suppression d'explosion 46, 49, 64
Surface chaude 10
Suspension 16, 20, 52, 54, 60, 61

T

Tamissage 62
Tension de claquage 44, 63, 65
Tissu filtrant 20
Toluène 18
Transport 42, 60, 62
Transport pneumatique 16, 42, 44, 63, 65
Transvasement 16, 48, 52, 53, 58, 62, 64
Tube 21, 32
Tube de verre 21, 53, 57, 59
Tube métallique 20

V

Valeur disruptive d'un champ électrique 12, 26, 27, 32
Vanne 57
Vapeurs (voir aussi Mélange air-vapeurs) 8, 9, 57, 62
Vapeurs de solvants 30, 31, 66
Vidage 16, 37, 42
Vitesse d'écoulement 47, 57, 59
Vitesse de contact/séparation 42, 46
Vitesse de transport 46

X

Xylène 18

Publications de l'AISS relatives à la protection contre les explosions

AISS

Comité Chimie
Groupe de travail «Protection contre les explosions»

Dust Explosions (all./angl./it.)
(2001)

Gas Explosions (all./angl./it.)
(2000)

Sécurité des installations de gaz liquéfié (butane et propane) (all./angl./esp./fr./it.)
(1992)

Électricité statique – Risques d'inflammation et mesures de protection (all./angl./fr./it.)
(1996)

Adresser vos commandes à : IVSS Sektion Chemie
Kurfürsten Anlage 62
D-69115 Heidelberg, Allemagne

AISS

Comité Sécurité des machines et systèmes
Groupe de travail «Explosions de poussières»

Règles pour la protection des machines et appareils contre les explosions de poussières

- Mesures préventives et constructives (all./angl./fr.)
(1987)
- Recueil d'exemples (all./angl./fr.)
(1990)
- Mesures de suppression des explosions (all./angl./fr.)
(1990)
- Determination of the Combustion and Explosion Characteristics of Dusts (all./angl.)
(1998)

Adresser vos commandes à : IVSS Sektion Maschinen- und Systemsicherheit
Dynamostrasse 7–11
D-68165 Mannheim, Allemagne

L'AISS ET LA PRÉVENTION DES ACCIDENTS DU TRAVAIL ET DES MALADIES PROFESSIONNELLES

La Commission permanente de l'AISS pour la prévention des risques professionnels réunit des spécialistes de tous les pays du monde. Chargée de promouvoir la coopération internationale dans le domaine de la prévention, elle entreprend par ailleurs des études sur des thèmes particuliers tels que le rôle des médias dans la prévention, ou les stratégies de sécurité intégrée au poste de travail, sur la voie publique et à la maison. Elle coordonne les activités de huit comités internationaux spécialisés par branches d'activité (industrie et agriculture), et de trois comités chargés respectivement des techniques d'information, de la recherche et de la formation dans le domaine de la prévention. Différents pays assurent le secrétariat de ces comités.

Les activités des comités internationaux de l'AISS comportent notamment :

- l'échange d'informations entre organismes intervenant dans le domaine de la prévention
- l'organisation de réunions spécialisées, groupes de travail, tables rondes et colloques internationaux
- la conduite d'enquêtes et d'études
- la promotion de la recherche
- la publication d'informations sur la prévention.

Si vous souhaitez obtenir plus de précisions sur ces comités et sur le travail de l'AISS dans le domaine de la prévention des risques professionnels, un dépliant intitulé «Sécurité pour tous» peut vous être adressé par le secrétariat des comités, en langue allemande, anglaise, espagnole ou française.

LES MEMBRES DES COMITÉS INTERNATIONAUX

Chaque comité international de l'AISS a trois catégories de membres :

- peuvent devenir **membres de plein droit** les membres de plein droit ou les membres associés de l'AISS Genève et tous autres organismes sans but lucratif
- peuvent devenir **membres associés** les entreprises ou les organismes à but lucratif disposant d'une qualification particulière dans le domaine d'activité du comité
- peuvent devenir **membres correspondants**, à titre individuel, les spécialistes du domaine d'activité du comité.

Des informations complémentaires et des formulaires d'adhésion vous seront adressés sur simple demande par les secrétariats des différents comités.

L'UN AU MOINS DES COMITÉS INTERNATIONAUX DE PRÉVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS DE L'AISS CORRESPOND À VOTRE SECTEUR: N'HÉSITEZ PAS À LE CONTACTER



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS pour
L'AGRICULTURE
Bundesverband der landwirtschaftlichen
Berufsgenossenschaften
Weissensteinstrasse 72
D-34131 KASSEL-WILHELMSHÖHE
Allemagne



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS
pour LA SÉCURITÉ des MACHINES et
SYSTÈMES
Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und
Gaststätten
Dynamostr. 7-11
D-68165 MANNHEIM
Allemagne



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS
pour L'INDUSTRIE CHIMIQUE
Berufsgenossenschaft
der chemischen Industrie
Kurfürsten Anlage 62
D-69115 HEIDELBERG
Allemagne



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS
pour L'INDUSTRIE MINIÈRE
Bergbau-Berufsgenossenschaft
Hunscheidtstrasse 18
D-44789 BOCHUM
Allemagne



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS pour
LE BÂTIMENT et LES TRAVAUX PUBLICS
Caisse régionale d'assurance-maladie d'Île
de France
17-19, place de l'Argonne
F-75019 PARIS
France



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS
pour LA RECHERCHE
Institut National de Recherche et de
Sécurité (INRS)
30, rue Olivier - Noyer
F-75680 PARIS CEDEX 14
France



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS pour
L'ÉLECTRICITÉ - GAZ - EAU - CHAUFFAGE
URBAIN
Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und
Elektrotechnik
Gustav Heinemann Ufer 130
D-50968 KÖLN
Allemagne



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS
pour L'ÉDUCATION à la PRÉVENTION
des ACCIDENTS
Institut national de recherche et de sécurité
(INRS)
30, rue Olivier-Noyer
F-75680 PARIS CEDEX 14
France



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS
pour L'INFORMATION
Institut pour la prévention, la protection et
le bien-être au travail (PREVENT)
88, rue Gachard, Boîte 4
B-1050 BRUXELLES
Belgique



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS
pour LE SECTEUR SANTÉ
Berufsgenossenschaft für
Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege
(BGW)
Pappelallee 35-37
D-22089 Hamburg
Allemagne



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS
pour L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
Allgemeine Unfallversicherungsanstalt
Adalbert-Stifter-Strasse 65
A-1200 WIEN XX
Autriche