

MISE EN CONFORMITE CE

D'UN SYSTEME PREVENTIF DE DECLENCHEMENT D'AVALANCHE

CE CONFORMITY OF A PREVENTIVE TRIGGERING AVALANCHE SYSTEM

B. LANTERNIER, L. PERRETTE, D.CHARPENTIER
INERIS
Parc ALATA
60550 Verneuil-en-Halatte

J.-M. NEUVILLE.
T.A.S - Technologie Alpine de Sécurité,
Parc d'Activités ALPESPACE
73800 SAINTE HELENE DU LAC

Résumé

Tout produit commercialisé dans l'union européenne doit être en conformité aux directives européennes auquel il est soumis. Certains systèmes complexes peuvent ainsi être soumis à plusieurs directives tandis que d'autres, du fait de leur innovation technologique et/ou de l'utilisation de nouveaux procédés, peuvent échapper à ces exigences réglementaires malgré des risques indiscutables. L'évaluation de ces nouveaux produits est cependant nécessaire pour répondre de manière favorable aux exigences sociétales en terme de maîtrise des risques. Cet article traite de la mise en conformité de ces nouveaux produits en s'appuyant sur le cas concret d'un déclencheur d'avalanche hélicopté utilisant de l'hydrogène. L'article souligne des difficultés d'interprétations des directives et la démarche pour vérifier la conformité réglementaire d'un système innovant.

Summary

Any commercialised product in the European Union must comply to European directives for which it is submitted. Some complex systems can be subjected to several directives while others, because of their technological innovation and / or use of new processes, can escape to these regulatory requirements despite indisputable risks. The assessment of these new products is necessary to respond favorably to the societal requirements in terms of risks. This article deals with the compliance of these new products based on the specific case of a preventive triggering avalanche system by helicopter using hydrogen. This article stresses interpretation difficulties of directives and the approach for checking regulatory conformity of an innovating system.

Contexte

Les directives européennes relatives au marquage CE sont spécifiques à des produits très divers (machines industrielles, explosif à usage civil, jouets...), à des utilisations particulières (atmosphère explosible) ou à des risques particuliers (basse tension, équipements sous pression, compatibilité électromagnétique). L'évaluation de conformité d'un produit est ainsi complexe car il est nécessaire de s'assurer de la conformité à toutes les directives qui s'appliquent.

Pour y parvenir, il est nécessaire de lister les directives applicables, puis d'identifier les normes harmonisées associées à ces directives permettant ainsi de prouver la conformité aux exigences essentielles de sécurité de ces directives.

Sachant que les normes s'élaborent par les comités de normalisation internationaux ou européens sur des périodes de plusieurs années, il arrive fréquemment que le certificateur ait à évaluer un produit novateur avec des normes inadaptées à la technologie.

Par ailleurs certains matériels pouvant présenter des risques importants pour les utilisateurs sont à la limites des domaines d'application de ces directives. La problématique sera de définir un processus d'évaluation qui respecte les exigences essentielles de ces directives et qui soit adapté à la spécificité du produit.

C'est le cas du déclencheur d'avalanche développé par la société Technologie Alpine de Sécurité (T.A.S) qui a conçu un système hélicopté de déclenchement d'avalanche préventif par explosion d'un mélange oxygène/hydrogène. Tout l'enjeu est de pouvoir maîtriser les risques liés à l'explosion qui constitue cependant le cadre normal de fonctionnement du système.

Le système Daisy Bell®

De par le contexte météorologique hivernal toujours particulier et les différentes situations à traiter (positionnement et orientation des couloirs, ampleur du bassin versant), la protection paravalanche fait largement appel au déclenchement préventif auquel ne peuvent seuls répondre les moyens fixes type Gazex®, Catex ou autres. L'utilisation de moyens mobiles reste ainsi importante, qu'il s'agisse du grenadage à la main ou hélicopté. Or, avec les contraintes de plus en plus importantes associées au transport et au stockage d'explosifs et aux risques de mauvaises manipulations, la communauté montagnarde souhaite de nouveaux systèmes de déclenchement d'avalanche.

Le Daisy Bell développé par la société T.A.S est un système hélicopté basé sur l'explosion d'un mélange d'hydrogène et d'oxygène ayant comme principaux avantages :

- un mélange qui ne devient "dangereux" qu'au dernier moment ;
- la mobilité de l'hélicoptère ;
- l'efficacité énergétique de l'hydrogène ;
- la maîtrise du point d'explosion (pas de jet hasardeux d'explosif).

Le Daisy Bell® consiste à faire exploser à 3-5 mètres au-dessus du manteau neigeux, un mélange hydrogène/oxygène contenu dans une enceinte métallique de forme conique ouverte à son extrémité. Toutes les opérations sont pilotées depuis la cabine de l'hélicoptère. Moins de dix secondes sont nécessaires depuis l'ordre de remplissage jusqu'à la mise à feu et aucun délai d'attente n'est imposé entre chaque tir.

Les principaux avantages sont :

- la mobilité du système.
- L'autonomie d'une cinquantaine de tirs successifs.
- aucun consommable mis à part les gaz.
- Le faible coût d'utilisation et de maintenance.

Les premiers essais fonctionnels ont consisté à mesurer l'influence du rotor sous l'hélicoptère, à une vingtaine de mètres (y compris les effets de sol). Le vent vertical moyen était alors de l'ordre de 20 km/h avec des rafales à près de 40 km/h. Cette influence est non négligeable. En théorie, il faut atteindre une trentaine de mètres de hauteur pour voir cet effet diminuer voir disparaître.

Pour des raisons pratiques de longueur des câbles de mesures, les tests du prototype ont été réalisés avec un dispositif de suspension de 17 m : 15 m d'élingue en kevlar reliée à 2 m de corde. Le Daisy Bell® a été testé dans des conditions a priori moins favorables que les conditions finales d'utilisation.

Des essais d'impact de l'explosion du mélange gazeux ont été réalisés dans un premier temps avec une grue pour mesurer la force induite sur l'élingue puis en conditions réelles avec un hélicoptère.

Les résultats très satisfaisants ont conduit la société T.A.S à faire certifier ce matériel vis-à-vis de la réglementation européenne sur les produits en vu d'un marquage CE.

L'INERIS a examiné la recevabilité du dossier et défini la procédure d'évaluation de ce matériel.



Fig 1. Prototype Daisy Bell en phase de vol



Fig 2. Premier essai de validation du prototype Daisy Bell

CONFORMITE POUR LE MARQUAGE CE : QUELLES SONT LES DIRECTIVES QUI S'APPLIQUENT ?

Le Daisy Bell® est constitué d'une cloche (ou cône) métallique ouverte à la base, de bouteilles de gaz (H_2 et O_2), d'un système électrique de commande d'ouverture/fermeture d'électrovanne et d'un système de mise à feu. L'ensemble est commandé de l'hélicoptère par ondes radiofréquences.

En première approche les directives qui pourraient s'appliquer à ce produit seraient :

- directive ATEX 94/9/CE [1] car il a présence d'une atmosphère explosible,
- directive ESP 97/23/CE [2] car il utilise des bouteilles de gaz inflammable sous pression,
- directive CEM 2004/108/CE [3],
- directive RTTE 99/5/CE [4] car la commande est radiofréquence,
- directive Machines 98/37/CE car les mouvements engendrés par la cloche peuvent être dangereux pour le personnel à proximité (dans l'hélicoptère).

Rappelons que le principe de base relatif au marquage CE est que le produit soit sûr de fonctionnement pour l'utilisateur.

Domaine d'application de la directive ATEX 94/9/CE

Le domaine d'application de la directive ATEX 94/9/CE est limité aux mélanges avec l'air, dans les conditions atmosphériques, de substances inflammables sous forme de gaz, vapeurs ou poussières dans lequel, après inflammation, la combustion se propage à l'ensemble du mélange. Pour être explosif, le mélange doit être compris entre la LIE (Limite Inférieure d'Explosivité) et la LSE (Limite Supérieure d'Explosivité).

Depuis juillet 2003, les constructeurs ne peuvent plus mettre sur le marché que des appareils ou équipements conformes aux exigences de la directive 94/9/CE s'ils sont destinés à être utilisés dans des atmosphères explosives dues à des gaz, des vapeurs ou des poussières.

Les matériels concernés par cette directive européenne sont :

- Les appareils destinés à être utilisés, entièrement ou en partie, dans une ATEX et possédant leur propre source d'inflammation.
- Les systèmes de protection autonome (ne faisant pas partie intégrante d'un appareil) installés et utilisés en ATEX, qu'ils possèdent ou non leur propre source d'inflammation.
- Les composants non autonomes essentiels au fonctionnement sûr des appareils et des systèmes de protection définis ci-dessus.
- Les dispositifs de sécurité, de contrôle et de réglage contribuant au fonctionnement sûr des appareils et des systèmes de protection, définis ci-dessus, au regard des risques d'explosion.

Cette directive est ainsi faite pour éviter tout risque d'explosion.

Une analyse détaillée des domaines d'application de cette directive montre que le système DAISY BELL® n'est pas soumis à la directive ATEX puisqu'elle s'applique aux appareils et aux systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles. Le DAISY BELL® fonctionne en plein air et loin de toutes atmosphères explosibles. Entrent également dans le champ d'application, les dispositifs de sécurité, de contrôle et de réglage destinés à être utilisés en dehors d'atmosphères explosibles mais qui sont nécessaires ou qui contribuent au fonctionnement sûr des appareils et systèmes de protection au regard des risques d'explosion. Or l'explosion du mélange gazeux dans la cloche est normale puisque le DAISY BELL® est conçu pour cela.

Le DAISY BELL® n'est donc pas soumis à la directive ATEX 94/9/CE bien que le risque majeur soit l'explosion d'un mélange de gaz.

Cependant la directive Machines 98/37/CE (révisé par la directive 2006/42/CE [5]) définit l'ensemble des risques associés à une machine, dont les risques dus aux atmosphères explosibles.

Ainsi, La machine doit être conçue et construite de manière à éviter :

- Tout risque d'incendie ou de surchauffe provoqué par la machine elle-même ou par les gaz, liquides, poussières, vapeurs et autres substances produites ou utilisées par la machine.
- Tout risque d'explosion provoqué par la machine elle-même ou par les gaz, liquides, poussières, vapeurs et autres substances produites ou utilisées par la machine.

Peut-on considérer le Daisy Bell comme une machine, sachant que la définition au sens de la directive est un ensemble de pièces dont au moins une est mobile ?

La cloche est mobile lors de l'explosion de gaz et peut entraîner des risques pour les utilisateurs situés dans l'hélicoptère. Le système Daisy Bell® peut donc être assimilé à une machine.

Le risque ATEX sera donc pris en compte vis-à-vis des exigences de sécurité de la directive Machines.

La vérification de la conformité aux autres directives est plus classique et ne sera pas présentée dans cet article.

Evaluation du risque de formation d'une atmosphère explosible en dehors de la cloche

Prévision des caractéristiques de fuite d'hydrogène

Le mélange explosif constitué d'hydrogène et d'oxygène est généré directement dans le cône d'explosion. Le volume du mélange explosif est d'environ 1.5 m^3 . Sa densité est de l'ordre de 0.757 kg/m^3 (conditions normales de température et de pression).

Les situations redoutées portent sur :

- la libération involontaire d'une partie de ce volume explosif initialement contenu dans le cône au niveau des équipements électriques constitutifs du dispositif. Cette situation peut être provoquée par exemple à la suite d'un sur-remplissage ou de mouvement d'air.
- la libération involontaire suite à une défaillance d'équipement (partie entre les bouteilles et les buses d'injections).

Lorsqu'un gaz (mélange explosif) est libéré dans un autre gaz (l'air), les deux gaz vont inévitablement se mélanger sous l'effet des mécanismes suivants :

- la turbulence induite par le rejet du gaz (turbulence liée à l'inertie initiale du jet et sa flottabilité éventuelle),
- la turbulence induite par des événements externes au rejet (mouvement d'air dans l'environnement),
- la diffusion (effet a priori limité devant les deux autres mécanismes)

Ces mécanismes sont directement liés :

- Aux conditions de rejet (vitesse initiale, section de fuite, orientation du rejet...);
- À la différence de densité entre le mélange et l'environnement dans lequel il fuit (flottabilité);
- Conditions extérieures (atmosphère au repos ou agitée).

Les mécanismes qui contribuent au mélange ont pour effet de diluer le gaz rejeté (et donc d'abaisser sa concentration dans l'air) au fur et à mesure que ce dernier s'éloigne du point d'émission.

Les situations explicitées peuvent s'assimiler à des cas de rejet de type panache de gaz (le moteur est la différence de densité entre le gaz en fuite et l'environnement de fuite) où le mélange (H_2+O_2) est plus léger que l'air et émis à faible vitesse. Ce mélange va avoir un mouvement ascensionnel au cours duquel il se dilue. Il convient donc de s'intéresser à la décroissance de concentration en hydrogène et plus particulièrement de savoir si le mélange est toujours explosif lorsqu'il chemine à proximité des équipements électriques.

Pour ce faire, une corrélation du type Chen et Rodi [6] applicable aux panaches a été utilisée. Les données d'entrées à partir desquelles il est possible d'apprécier la décroissance de la teneur en hydrogène sur l'axe du rejet sont :

- Le diamètre de fuite
- La vitesse du rejet. Le calcul réalisé s'est fait à partir de la vitesse ascensionnelle d'une bulle dont le diamètre est similaire à celui du diamètre de fuite.
- La densité du mélange

Le diamètre du rejet doit être d'au moins 5 cm pour que la concentration en hydrogène du mélange explosif soit encore de 4% à 1 mètre dans l'axe du point de rejet. Or, il n'est pas attendu quel que soit le cas, que le diamètre de fuite soit supérieur à 5 cm pour les rejets considérés. De surcroît, les calculs proposés font référence à une atmosphère au repos : il s'agit du cas le plus défavorable sachant que l'agitation de l'atmosphère est favorable à la dispersion et donc à la décroissance de la concentration d'hydrogène. Ainsi il est vraisemblable que la teneur en hydrogène du mélange ne soit plus explosive à hauteur des équipements électriques pour les rejets considérés s'apparentant à des rejets de type panache comme les situations d'échappements d'hydrogène à travers le cône. La fuite d'hydrogène sur le réseau suite à la défaillance de matériels reste cependant envisageable.

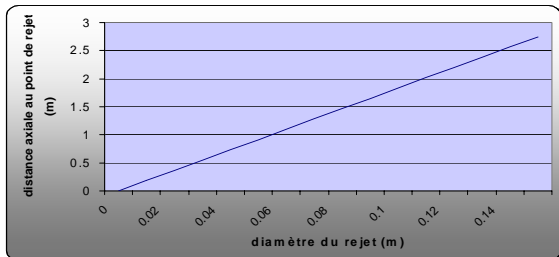


Fig 3. Evolution de la distance axiale du point de rejet pour laquelle la concentration en hydrogène est de 4% en fonction du diamètre du rejet du mélange explosif

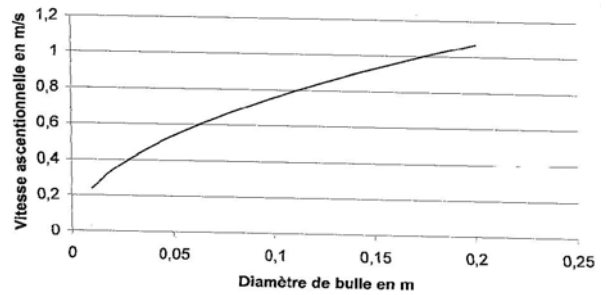


Fig. 4. Vitesse ascensionnelle d'une bulle de mélange explosif dans l'air en fonction de son diamètre

Les tests statiques

Les premiers essais ont été réalisés à l'air libre en extérieur en présence d'un vent moyen non négligeable jusqu'à une dizaine de km/h et en ne procédant qu'à l'injection du mélange sans allumage (Fig 3). Un anémomètre (situé sur le boîtier) est utilisé pour mesurer la vitesse du vent. Ce vent, qui a permis de s'approcher des conditions réelles d'utilisation est a priori un facteur défavorable avec une tendance à l'aspiration du mélange contenu à l'intérieur du cône. D'ailleurs, les mesures effectuées montrent des « fuites » d'hydrogène au niveau de l'extrémité basse du cône dès la 3ème seconde de remplissage : Pour autant, il ne s'agit que d'effluves limités à 0,7%. La sonde est fixée sur le bas du cône.



Fig 5. Photo des essais statiques

Lorsque le capteur est placé plus haut le long du cône, à l'emplacement prévisible des différents systèmes électroniques, électriques et d'injection des gaz, les traces d'hydrogène n'apparaissent que plusieurs secondes après la fin du remplissage alors même qu'il n'a pas été procédé à l'allumage.

Les tests en vols

Les essais en vols indiquent qu'aucune trace d'hydrogène n'a pu être mesurée par un détecteur pendant toute la campagne d'essai.

L'effet de souffle provoqué par le rotor sur Daisy Bell est non négligeable puisque son influence est prépondérante par rapport à un vent horizontal ce qui est intéressant à plusieurs titres :

- Il disperse toute fuite éventuelle pour empêcher la formation d'atmosphère externe explosive.
- Il contribue à orienter l'explosion vers le bas pour empêcher toute remontée de flamme sur les bords de l'extrémité du cône et donc contribuer à protéger l'extérieur de Daisy Bell des effets thermiques de l'explosion.

Classement des matériels électriques situés en extrémité de la cloche

La modélisation et les tests sur site ont permis de faire un classement de la zone ATEX en extrémité de la cloche afin de déterminer le niveau de risque ATEX et de préconiser les caractéristiques et protections des matériels à utiliser dans cette zone.

L'extrémité de la cloche a été classée en zone 2 correspondant à une atmosphère explosive qui n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal ou, si elle se présente néanmoins, n'est que de courte durée.

Exigences sur les équipements électriques en zone 2 vis-à-vis de l'ATEX

Sur le plan réglementaire, le classement de zone ATEX est imposé par la directive 1999/92/CE [7] pour les installations industrielles où l'exploitant analyse le risque d'explosion et fixe des exigences sur les matériels dans les zones considérées afin de garantir de la sécurité de son installation.

Le classement de zone ne s'impose donc pas pour le Daisy Bell® qui a été considéré comme une machine et non comme une installation.

Toutefois afin que les exigences de sécurité sur les équipements électriques du Daisy Bell® soient d'un niveau similaire à des installations industrielles présentant le même risque, nous avons appliqué les règles du classement de zone qui conduisent à définir les exigences des matériels en zone 2. Ces exigences sont spécifiées dans les normes harmonisées de la directive sur les matériels ATEX 94/9/CE.

Ainsi la particularité de cette certification tient dans l'application des normes ATEX pour s'assurer de la sécurité globale du système alors qu'en générale ces normes harmonisées sont utilisées pour prouver de la conformité à la directive ATEX 94/9/CE. Il n'y a donc pas de différences concernant l'évaluation ATEX mais sur le plan réglementaire la conformité CE attestera que le Daisy Bell® respecte les exigences essentielles de sécurité de la directive Machines.

Exigences sur les équipements vis-à-vis des normes de contrôle commande d'une machine

Une analyse de dangers a été menée afin de mettre en évidence les situations dangereuses suivant les deux profils de mission qui sont « la phase de vol » et « la phase au sol ». Parmi les dix-sept situations dangereuses recensées, dix sont en mesure d'être évitées grâce à la mise en place de systèmes instrumentés de sécurité ou systèmes de commande relatifs à la sécurité. Nous détaillons trois fonctions de sécurité mise en place selon les exigences de la directive Machines concernant les parties des systèmes de commande relatives à la sécurité [8] :

- L'arrêt d'urgence
- Le remplissage
- La mise à feu

La fonction Arrêt d'urgence (AU)

Cette fonction permet d'éviter et/ou de limiter les conséquences liées à pratiquement toutes les situations de danger. Ainsi le niveau de sécurité a été défini en catégorie 3 (niveau de performance ou PL de « d ») selon la norme EN ISO 13849. Dans la catégorie 3, les parties relatives à la sécurité sont conçues de sorte que l'occurrence d'un défaut unique dans l'une quelconque de ces parties n'entraîne pas la perte de la fonction de sécurité et que, chaque fois que cela est raisonnablement réalisable, le défaut unique soit détecté. Le MTTFd (Temps moyen avant une défaillance dangereuse) doit être d'indice moyen (entre 10 ans et 30 ans) à élevé (entre 30 et 100 ans). Selon le MTTFd retenu, la couverture du diagnostic doit être d'indice faible (entre 60 et 90%) à moyen (90 à 99%). Les mesures contre les défaillances de cause commune sont également prises en compte.

L'arrêt d'urgence peut être actionné manuellement par un bouton poussoir (deux contacts électriques différents) sur la télécommande (émetteur) en phase de vol. En cas de perte de la communication radiofréquence, un ordre d'arrêt d'urgence est généré par un dispositif situé sur le boîtier électronique en extrémité de la cloche et indépendant de la carte de contrôle commande.

L'arrêt d'urgence doit être transmis et réalisé selon deux procédés distincts traités par deux mécanismes différents sur chaque entité (émetteur et récepteur).

Ainsi la redondance exigée par la catégorie 3 est réalisée par :

- la transmission d'un ordre numérique d' AU (traitement logique)

- l'arrêt de l'émission radiofréquence considéré comme un ordre redondant. Ce traitement électrique basé sur l'absence de réception au niveau du modem radio, géré par une unité centrale dédiée, assure la suppression de la puissance aux actionneurs et donc la fermeture des électrovannes.
- Une procédure d'autocontrôle de la fonction

Sur le récepteur, la redondance est réalisée par :

- Un traitement logique par microcontrôleur avec retransmission au pupitre donneur d'ordre et interruption des procédures
- Un traitement électrique avec suppression de la puissance. Les électrovannes sont par ailleurs en sécurité positive.
- Un traitement électrique avec suppression de l'alimentation du modem radio (et mise en action du second dispositif de coupure de puissance) et retombée du système de surveillance de la communication.

Notons également la présence de deux capteurs de température totalement indépendants et autocontrôlés en permanence par analyse de leur valeur (gestion du court-circuit ou de la perte de surveillance par déconnexion).

La fonction de remplissage

La fonction de remplissage permet l'ouverture d'électrovannes (deux vannes en série pour l'hydrogène et une vanne pour l'oxygène) qui sont les actionneurs finaux du système.

Le niveau de sécurité a été défini en catégorie 2 selon la norme NF EN ISO 13849 (PL « d »). Dans la catégorie 2, la fonction de sécurité est contrôlée à intervalles convenables par le système de commande de la machine. L'occurrence d'un défaut peut conduire à la perte de la fonction de sécurité dans l'intervalle entre deux contrôles. Le MTTFd est d'indice élevé et la couverture du diagnostic d'indice moyen. Les mesures contre les défaillances de cause commune sont prises en compte.

La fonction de remplissage est basée sur l'appui simultané sur deux boutons poussoirs, chaque bouton poussoir étant autocontrôlé à la mise en service de la télécommande. Le remplissage de la cloche est effectué sur la base d'une durée en fonction du débit. Les pressions d'H₂ et O₂ sont mesurées en permanence de manière à vérifier l'absence de fuite entre les utilisations et faire en sorte de conserver une réserve nécessaire et suffisante pour assurer une purge (avec O₂) d'environ 30 secondes. Par ailleurs la fonction de remplissage possède une temporisation maximale (composants discrets externes à l'unité centrale).

La structure de distribution de la puissance aux actionneurs se fait par l'apport du 24V à travers des étages transistorisés disposés en série. Trois étages sont ainsi présents et composés d'une commande dynamique de type monostable, d'une commande logique commune aux actionneurs et une autre commande logique dédiée à chaque actionneur particulier.

La fonction de mise à feu

Cette fonctionnalité est spécifiée au niveau de sécurité de catégorie 2 selon la norme NF EN ISO 13849 (PL « d »).

Cela signifie que cette fonctionnalité doit s'appuyer sur des éléments contrôlés à intervalles convenables pour l'application comme pour la fonction de remplissage. Au niveau de l'automate, la fonction de mise à feu s'appuie sur un couple d'allumeurs piezzoélectriques indépendant, actionneurs de la fonction. Un test en mode « diagnostique » lors des visites de contrôle, comme indiqué dans les modes opératoires, permet de tester les deux mécanismes de manière indépendante.

Comme pour la fonction de remplissage, la structure de distribution de la puissance aux actionneurs se fait par l'apport du 24V à travers des étages transistorisés disposés en série.

Conclusion

La certification du déclencheur d'avalanche DAISY BELL® est intéressante sur le plan technique et réglementaire car cet équipement est à la limite du domaine d'application des directives ATEX et Machines. Bien que présentant un risque d'explosion, il n'est pas soumis à la directive ATEX 94/9/CE car sa fonction « normale » est de faire exploser une atmosphère explosible. De même c'est une machine « très spéciale ».

Le référentiel d'évaluation de la conformité en vu du marquage CE a été difficile à définir, le déclencheur d'avalanche est considéré comme une machine présentant un risque d'explosion d'une atmosphère gaz.

La conformité aux exigences essentielles de sécurité est basée sur l'application de la norme de sécurité machine EN ISO 13849 et sur les règles des matériels électriques et mécaniques fonctionnant en zone 2 vis-à-vis de la directive ATEX.

L'INERIS a évalué ce matériel en ayant une approche globale des risques afin de mettre en cohérence la certification de produit et l'analyse de risque pour une technologie nouvelle.

Les premiers essais sur le prototype ont démontré l'efficacité du système. Les tests dysfonctionnels sur le matériel et le logiciel ont permis de valider la robustesse et le niveau élevé de sécurité. L'étude apporte une contribution dans la maîtrise des risques liée à l'hydrogène dont l'utilisation est grandissante. Elle montre la difficulté de certifier des produits novateurs avec les référentiels et les normes actuelles.

Références

[1] Directive ATEX 94/9/CE du parlement européen et du conseil du 23 mars 1994 concernant le rapprochement des législations des Etats membres pour les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles.

[2] Directive ESP 97/23/CE du parlement européen et du conseil du 27 mai 1997 concernant le rapprochement des législations des Etats membres pour les équipements sous pression.

[3] Directive CEM 2004/108/CE du parlement européen et du conseil du 15 décembre 2004 relative au rapprochement des législations des États membres concernant la compatibilité électromagnétique et abrogeant la directive 89/336/CEE.

[4] Directive RTTE 99/5/CE du Parlement européen et du Conseil du 9 mars 1999 concernant les équipements hertziens et les équipements terminaux de télécommunications et la reconnaissance mutuelle de leur conformité.

[5] Directive 2006/42/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 mai 2006 relative aux machines et modifiant la directive 95/16/CE du 22 juin 1998.

[6] C.J. Chen and Rodi, 'Vertical Turbulent Buoyant Jets - A Review of Experimental Data', Pergamon Press, New York, 1980.

[7] Directive 1999/92/CE du parlement européen et du conseil du 16 décembre 1999 concernant les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosives.

[8] NF EN ISO 13849-1, Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité - Partie 1 : principes généraux de conception, pp 102, Norme élaborée sous mandat donné au CEN par la commission dans le cadre de la directive Européenne 98/37/CE, pp 102, février 2007.