

- Atmosphère explosive
- Protection individuelle
- Electricité statique
- Essai
- Réglementation
- Normalisation

► Florian MARC, Benoît SALLÉ, INRS, département Expertise et conseil technique

► Mohamed BOUDALAA, Yannick OLLIER, INERIS, direction des Risques accidentels

WORK CLOTHING AND PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT IN AN ATEX ZONE: ANTISTATIC PROPERTIES

Explosion risk assessment specifically involves considering the antistatic properties of work clothing (WC) and personal protective equipment (PPE), which may be used in explosible atmospheres (ATEX). Static electrical discharges from this equipment are indeed likely to constitute an inflammation source for an ATEX gas/vapour or dust.

There are separate regulations and standards on ATEX and PPE, so a study was conducted by INRS in cooperation with INERIS.

Laboratory tests (based on current standards and additional experimental method) were conducted to assess the difficulty of evaluating the dissipation properties of WC and PPE. Analysis of the results reveals that current operating procedures and requirements are insufficient for overall antistatic characterisation of a WC or PPE. Not only the design (seams, pockets, logos, etc.), but also the nature and thickness of layers worn beneath the equipment play a preponderant part in dissipating electrical charges. Similarly, wear and repetitive washing cycles have a negative impact on initial performance.

The long-term aim is to be able to stabilise a method and its related criteria to allow overall validation of the equipment for use in an ATEX zone.

- Explosible atmosphere
- Personal protection
- Static electricity
- Test
- Regulations
- Standardisation

VÊTEMENTS DE TRAVAIL ET ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE PROPRIÉTÉS ANTISTATIQUES ET CRITÈRES D'ACCEPTABILITÉ EN ZONE ATEX

L'évaluation du risque d'explosion implique notamment la prise en compte des caractéristiques antistatiques des vêtements de travail (VT) et équipements de protection individuelle (EPI) pouvant être utilisés dans des atmosphères explosives (ATEX). Les décharges d'électricité statique issues de ces équipements sont en effet susceptibles de constituer une source d'inflammation pour une ATEX gaz/vapeur ou poussière.

Les réglementations et les normes relatives aux ATEX et aux EPI étant distinctes, une étude a été menée par l'INRS, en collaboration avec l'INERIS.

Des tests en laboratoire (selon les normes actuelles et selon une méthode complémentaire expérimentale) ont permis de mesurer la difficulté d'évaluer les propriétés dissipatrices des VT et EPI. L'analyse des résultats fait ressortir que les modes opératoires et les exigences actuels ne sont pas suffisants pour la caractérisation antistatique d'un VT ou EPI dans son ensemble. La conception (coutures, poches, logos...) mais aussi la nature et l'épaisseur des couches portées sous l'équipement jouent un rôle prépondérant sur la dissipation des charges. De la même manière, l'usure et les cycles de lavage répétitifs ont un impact négatif sur les performances initiales.

L'objectif à terme est de pouvoir stabiliser une méthode et les critères associés permettant de valider l'équipement dans sa globalité pour une utilisation en zone ATEX.

La prise en compte du risque d'explosion, qui s'inscrit dans la démarche globale de prévention des risques telle que définie à l'article L. 4121-1 du code du travail, implique entre autres la prise en compte des caractéristiques communément appelées antistatiques des vêtements de travail (VT) et des équipements de protection individuelle (EPI) pouvant être utilisés dans les zones à risque d'explosion. Les décharges d'électricité statique issues de ces équipements sont en effet

susceptibles d'être une source d'inflammation pour une atmosphère explosive (ATEX) composée de gaz/vapeurs ou de poussières combustibles.

Cependant, les réglementations relatives aux ATEX et aux EPI sont distinctes. En particulier, les VT et les EPI sont exclus de la directive concernant les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosives.

Dans ce cadre, l'INRS, en collaboration avec l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), a mené une étude afin d'identifier les règles et les critères permettant d'évaluer le caractère antistatique des VT et des EPI, les modes opératoires de tests et les critères d'acceptabilité de ces équipements vis-à-vis des prescriptions existantes pour le matériel utilisable en zone ATEX.

Après une brève explication concernant le phénomène électrostatique et la génération de charges par un opérateur, cet article s'attache à réaliser un état des lieux de la réglementation, des normes et des essais associés régissant la notion d'antistatisme. Le caractère dissipateur de charges électrostatiques d'un VT ou d'un EPI est ensuite comparé aux exigences du domaine de la réglementation ATEX.

PHÉNOMÈNE ÉLECTROSTATIQUE ET MESURES DE PRÉVENTION

Tout corps en mouvement est susceptible de générer des charges électrostatiques par le phénomène de contact/séparation qu'il subit. Lorsque ces charges électrostatiques ne sont pas évacuées (dissipées) et s'accumulent, des phénomènes de décharge, type étincelle, peuvent se produire.

La génération de charges sur une personne peut s'effectuer de différentes façons :

- par contact/séparation, par exemple entre le sol et les chaussures en marchant ;

- par influence, lorsque la personne s'approche d'une source de potentiel élevé (comme un transport pneumatique ou un Big-bag) ou lors de la vidange d'un sac dans un réacteur ;

- par frottement, lorsqu'une personne frotte les vêtements qu'elle porte (par exemple, lorsqu'elle se lève de son siège).

Les décharges générées (cf. Encadré 1) par une personne et son VT ou son EPI sont principalement de deux types :

- capacitive : le corps humain étant considéré comme un bon conducteur ;

- en aigrette : les EPI portés étant généralement composés de matériaux isolants.

Décharges les plus fréquentes

- La **décharge en aigrette** se produit lorsqu'un isolant chargé par frottement, impact ou circulation de fluide est approché d'une surface à un potentiel différent. Le transfert de charges dans un isolant étant limité, seules les charges accumulées localement vont participer à la décharge. Par exemple, le chargement électrostatique par frottement d'une courroie d'entraînement de machine qui se décharge vers son axe de rotation. L'énergie de cette décharge est en général inférieure à 10 mJ.
- La **décharge capacitive** (communément appelée étincelle) a lieu entre deux conducteurs portés à des potentiels différents. C'est, par exemple, le cas d'un fût métallique isolé, qui a accumulé des charges lors de son remplissage, générant une étincelle lorsqu'il est placé au voisinage d'un conducteur mis à la terre. Suivant la quantité de charges accumulées par le conducteur, l'énergie de l'étincelle est comprise entre quelques mJ et quelques centaines de mJ.

EXEMPLE DE SITUATION DE TRAVAIL :

Prenons le cas simple d'un opérateur équipé de chaussures et de vêtements sans traitement particulier permettant de favoriser l'évacuation des charges électrostatiques, et amené à remplir un réacteur avec une poudre conditionnée dans un emballage.

La première étape à risque est l'arrivée au poste de travail. En effet, l'opérateur peut accumuler des charges simplement en marchant ou lors de son passage à proximité d'un tronçon pneumatique non relié à la terre et récupérer ainsi une charge par influence. L'étincelle de décharge peut se former à l'approche du réacteur relié à la terre.

Le deuxième risque survient lors de la vidange du sac dans le réacteur. L'opérateur accumule par influence des charges provenant de l'écoulement de la poudre. S'il s'approche d'une partie métallique reliée à la terre, la différence de potentiel créée peut former une étincelle.

Dans ces deux cas, si l'opérateur évolue dans une zone à risque d'explosion, les étincelles produites sont susceptibles d'enflammer l'atmosphère explosive.

Afin de prévenir le risque de formation d'étincelles d'origine électrostatique au niveau de l'opérateur, il est impératif que toute charge formée soit évacuée. Pour ce faire, trois règles doivent être respectées :

- porter des vêtements de travail ou des EPI dissipateurs de charge ;

- porter des chaussures (dites

antistatiques) permettant l'écoulement des charges ;

- évoluer sur un sol conducteur ou dissipateur de charges.

ÉTAT DES LIEUX RÉGLEMENTAIRE, NORMATIF ET TECHNOLOGIQUE

PRISE EN COMPTE DU CARACTÈRE DISSIPATEUR DANS LA RÉGLEMENTATION

Les articles R. 4227-42 à 4227-54 (codification des deux décrets transposant la directive 1999/92/CE, cf. Encadré 2) du Code du travail, précise que l'employeur doit évaluer les risques créés ou susceptibles d'être créés par des atmosphères explosives et, en particulier :

- éviter la formation d'une atmosphère explosive ;

- sinon, supprimer toute source d'inflammation, y compris les décharges d'origine électrostatique ;

- sinon, limiter les effets d'une explosion afin de préserver la santé et la sécurité des salariés.

Il est à noter que la prise en compte du risque d'explosion doit s'inscrire dans la démarche globale de l'évaluation et de la prévention des risques.

Ces articles sont complétés par un arrêté du 8 juillet 2003 relatif à « la protection des travailleurs susceptibles d'être exposés à une atmosphère explosive » qui

ENCADRÉ 2

Focus sur les directives

- La **Directive 89/686/CEE** du 21 décembre 1989, communément appelée « directive EPI », concerne les équipements de protection individuelle. Elle a été transposée en droit français par les décrets n°92-765, 92-766 et 92-768 du 29 juillet 1992 modifiés, et codifiée aux articles L. 4311-1 et suivants et R.4311-1 et suivants du Code du travail.
- La **Directive 94/9/CE** du 23 mars 1994, communément appelée « directive ATEX matériel », concerne les appareils et systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles. Elle a été transposée en droit français par le décret n°96-1010 du 19 novembre 1996 modifié.
- La **Directive 1999/92/CE** du 16 décembre 1999, communément appelée « directive ATEX sociale », concerne 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. Elle a été transposée en droit français par les décrets n°2002-1553 et 2002-1554 du 24 décembre 2002 modifiés, et codifiée aux articles R. 4216-31 et R. 4227-42 à 4227-54 du Code du travail.

TABLEAU I

Récapitulatif des normes traitant du caractère antistatique et exigences associées

Normes relatives aux	Type de mesure	Type d'échantillon	Exigences
Vêtements (blouses, pantalons, combinaisons...)	EN 1149-1 (2007)	Résistivité de surface (R_s)	100 mm de diamètre Voir EN 1149-5
	EN 1149-2 (1997)	Résistance verticale (R_v)	100 mm de diamètre $R_v < 10^8 \Omega$
	EN 1149-3 (2004)	Temps de décharge (T) Atténuation de charge (S)	50 mm * 300 mm Voir EN 1149-5
	EN 1149-5 (2008)	Définition des exigences	- T(50% valeur initiale) < 4s ou S > 0,2 (cf. EN 1149-3) Ou $R_s < 2,5 \cdot 10^9 \Omega$ (cf. EN 1149-1)
	EN 61340-5-1 (2001)	Résistance point à point (R_p)	Echantillon $10^{10} \Omega < R_p < 10^{12} \Omega$
Chaussures	EN 344 (1993)	Résistance transversale (R_t)	Chaussure complète $10^5 \Omega < R_t < 10^9 \Omega$
	EN 345 (1993)	Résistance transversale (R_t)	Chaussure complète $10^5 \Omega < R_t < 10^9 \Omega$
	CEI 61340-4-3 (2001)	Résistance transversale (R_t)	Chaussure complète $10^5 \Omega < R_t < 10^8 \Omega$
Gants	EN 420 (2003)	Fait référence aux normes EN 1149-1 à -3	Voir EN 1149-5
	EN 61340-5-1 (2001)	Temps de décharge (T)	Gant complet T(10% valeur initiale) < 2s

précise dans l'article 9 : « En vue de prévenir les risques d'inflammation [...], il convient de prendre en compte les décharges électrostatiques provenant des travailleurs ou du milieu de travail en tant que porteur ou générateur de charges ». Le même article ajoute par ailleurs que « les travailleurs doivent être équipés, en tant que de besoin, de vêtements de travail et d'équipements de protection individuelle antistatiques appropriés pour une utilisation en atmosphère explosive ». En conséquence et afin de réduire les risques que l'opérateur soit le siège d'une étincelle d'origine électrostatique, l'employeur s'oriente généralement vers des équipements (VT ou EPI) dits antistatiques.

Aux termes de la directive 89/686/CEE dont ils relèvent, les EPI destinés à une utilisation dans des atmosphères explosives doivent être conçus et fabriqués de façon telle qu'ils ne puissent être générateurs d'une étincelle d'origine électrostatique susceptible d'enflammer ce mélange explosible (article R. 4312-6 du Code du travail renvoyant à l'annexe II de la directive 89/686/CEE définissant les règles techniques de conception et de fabrication des EPI, notamment le point 2.6).

Néanmoins, exclus de la directive 94/9/CE, les EPI n'ont pas à être évalués conformément à celle-ci et ne peuvent

donc pas disposer du marquage réglementaire correspondant aux matériels et aux systèmes de protection utilisables en zone ATEX.

PRISE EN COMPTE DU CARACTÈRE DISSIPATEUR DANS LES NORMES

Pour respecter la directive EPI, les fabricants et utilisateurs peuvent s'appuyer sur différentes normes harmonisées relatives aux propriétés électrostatiques des chaussures, gants et matières constitutives d'un vêtement de protection (CEI 61340-4-3, EN 1149-1 à 5...).

Par ailleurs, afin de s'assurer qu'un matériel ne constitue pas une source d'inflammation d'origine électrostatique, des normes traitant à la fois des matériels non électriques utilisables en zone ATEX et du risque électrostatique (EN 13463-1, guide Cenelec TR 50404) peuvent être utilisées.

Le code de bonnes pratiques pour éviter les risques dus à l'électricité statique (TR 50404 du Cenelec) mentionne quant à lui que « les méthodes d'essai et les exigences de performance des vêtements de protection personnels destinés à être utilisés dans des atmosphères inflammables sont contenues dans l'EN 1149 ».

Ces normes prescrivent différents types de mesures en fonction de la technologie utilisée pour rendre le tissu antistatique :

- mesure de la résistance électrique,
- mesure de la charge par frottement ou par influence et de son atténuation,
- mesure du temps de décharge.

D'une norme à l'autre, les champs d'application peuvent varier et différentes exigences en termes de critères d'acceptabilité sont données (cf. Tableau I). Par exemple, les valeurs acceptables de résistance peuvent aller de 10^5 à $10^{12} \Omega$. Ces différences entre les exigences peuvent provenir du fait que les normes traitant de la notion d'antistatisme couvrent un domaine large qui relève aussi bien du confort pour éviter les chocs désagréables des étincelles que de la détérioration de composants dans le domaine de la micro-électronique.

Par ailleurs, la mesure du taux de dissipation de charges peut s'opérer à l'aide de générateurs de charges par frot-

tement ou par ionisation sous haute tension. Ces deux modes peuvent être très différents en termes de quantité de charges générées.

De plus, concernant les équipements de type blouse, pantalon et combinaison, les mesures à effectuer sont réalisées sur des échantillons de tissu de quelques cm² de surface et non pas sur le VT ou l'EPI complet.

Enfin, les normes de la série EN 1149 n'ont pas de lien avec les prescriptions des normes liées aux matériels acceptables en zone à risque d'explosion, notamment en ce qui concerne les différents seuils critiques de charges maximales acceptables correspondant aux groupes de gaz/vapeurs ou de poussières combustibles (cf. EN 13463-1 et chapitre suivant).

TECHNIQUES DE TRAITEMENT ANTISTATIQUE DES MATIÈRES CONSTITUTIVES DES VT ET DES EPI

Pour rendre un textile antistatique, les techniques principales consistent à :

- enduire le tissu avec un additif antistatique,
- mélanger en vrac des fibres antistatiques avec la matière constitutive du textile,
- placer des fibres antistatiques sur la surface sous forme de grilles ou de lignes,
- introduire des fils antistatiques au cœur de la fibre textile.

Les trois premières techniques dissipent les charges principalement par conduction avec, de fait, la nécessité d'avoir un contact direct avec la terre. La dernière permet d'évacuer les charges par rayonnement, sans contact avec la terre.

Les normes EN 1149-1 à -3 décrivent les modes opératoires de test appropriés aux différentes techniques tandis que la norme EN 1149-5 regroupe les exigences et critères d'acceptabilité pour qualifier le tissu d'antistatique.

SYNTHÈSE

En résumé, le caractère antistatique des EPI est bien pris en compte dans la réglementation qui impose que ces équipements ne constituent pas une source d'inflammation d'origine électrostatique.

TABLEAU II

Résultats des tests des VT et des EPI (type blouse, pantalon, combinaison) selon les normes de la série EN 1149

Type de mesure	Produits traités « antistatique »			Produits non traités « antistatique »	
	A	B	C	D	E
Résistance superficielle moyenne (Ω) (EN 1149-1)	2,73*10 ¹²	2,04*10 ¹²	3,15*10 ¹⁰	1,02*10 ¹⁰	4,7*10 ¹⁰
Résistance transversale moyenne (Ω) (EN 1149-2)	1,15*10 ¹²	1,03*10 ¹²	5,25*10 ⁹	2,52*10 ⁹	1,50*10 ¹⁰
Coefficient d'atténuation de la charge* (Ω) (EN 1149-3)	0,863	0,852	0,870	0,829	0,486

* Les mesures d'atténuation ont été effectuées selon la méthode 2 de la norme EN 1149-3 (charge par un générateur HT). Il faut noter que plus l'atténuation est élevée, plus le produit a la capacité de ne pas stocker les charges électrostatiques.

Pendant, les normes traitant de la notion d'antistatisme prennent leur origine dans des prescriptions du domaine de l'électronique qui ne prennent pas en compte les exigences liées aux matériels acceptables en atmosphères explosives.

CARACTÉRISATION ANTISTATIQUE DE VT ET D'EPI CONFORMÉMENT AUX TESTS NORMALISÉS

Dans un premier temps, l'objet de cette étude a été de caractériser les propriétés dissipatrices de VT et d'EPI (type blouse, pantalon, combinaison), à partir d'échantillons de leur tissu, selon les seuls documents de référence les concernant à ce jour : les normes de la série EN 1149.

SÉLECTION DES ÉCHANTILLONS

Cinq VT et EPI ont été sélectionnés sur la base de leur utilisation importante dans les activités industrielles ou de leur caractère standard :

- deux produits (A et B) de technologie à fibre antistatique en carbone à cœur, de qualité de fibre différente ;
- un produit (C) de technologie à grille de carbone ;
- un produit (D) non traité antistatique, type blouse de coton ;
- un produit (E) en mélange de fibres polyester sur coton à dominante polyester (2/3 sur 1/3), non traité antistatique.

Il faut noter que cet échantillon de VT et d'EPI ne représente qu'un faible pourcentage du marché. En effet, il existe, entre autres, une grande variété de qualités de traitement (pourcentage de fibres antistatiques, densité des fils à cœur...).

Par ailleurs, il n'a pas paru pertinent de sélectionner un vêtement 100 % polyester sachant que celui-ci est générateur d'une quantité de charges trop importante au regard de la problématique d'utilisation en zone à risque d'explosion.

TESTS ET OBSERVATIONS

Le *Tableau II* regroupe les résultats des tests selon les normes de la série EN 1149.

L'ensemble des résultats tend à montrer qu'il n'existe pas de différence flagrante entre les mesures obtenues sur des produits traités et celles réalisées sur des produits non traités « antistatique ». Elles sont cependant toutes supérieures aux exigences de la norme EN 1149-5, pour lesquelles la résistance doit être inférieure à 2,5*10⁹ Ω.

L'écart entre les résistances mesurées sur le produit traité par grille (C) (de l'ordre de 10¹⁰ Ω) et celles obtenues pour ceux traités à cœur (A et B) (de l'ordre de 10¹² Ω) peut s'expliquer par le fait qu'une mesure de résistance n'est pas adaptée dans leur cas. En effet, les fibres au cœur du tissu sont inaccessibles et ne peuvent pas être en contact direct avec les électrodes. La résistance mesurée est donc celle de la matière composant le produit.

TABLEAU III

Exigences concernant les charges maximales acceptables pour du matériel non électrique destiné à être utilisé en zone à risque d'explosion

Produits		Charge maximale tolérée (nC)	Exemples de produits
Gaz et vapeurs	Groupe IIA	60	Propane, acétonitrile, isopropanol
	Groupe IIB	30	Ethanol, formaldéhyde, éthylène
	Groupe IIC	10	Hydrogène, acétylène, disulfure de carbone
Poussières		200	Farine, bois, peinture

Les gaz sont classés en trois groupes en fonction, entre autres, de leur facilité à s'enflammer par une étincelle de décharge électrostatique.

Les mesures d'atténuation montrent peu de différences entre les produits traités et le produit D non traité. Seul le produit E (également non traité) donne une valeur deux fois plus faible, valeur restant cependant acceptable vis-à-vis des exigences de la norme EN 1149-5 qui demande un coefficient d'atténuation supérieur à 0,2.

A noter que, sur la base des seuils d'acceptabilité de la norme EN 1149-5, les conclusions de l'approche « atténuation » et de l'approche « résistance » sont opposées concernant le caractère antistatique des échantillons.

Le coefficient d'atténuation étant déterminé par un rapport entre le potentiel électrique du tissu testé et le potentiel du générateur, des mesures complémentaires ont été menées afin d'observer l'évolution du potentiel du tissu en fonction du temps.

L'analyse des résultats montre une différence entre les échantillons testés. En effet, les produits non traités ont un potentiel qui chute très rapidement pour se rapprocher du potentiel nul. Ces produits ont cependant tendance à continuer à se charger dans le temps. Quant aux produits traités, ils montrent une diminution continue de leur charge mais plus lente.

Ainsi, dans le cas d'un opérateur travaillant à proximité d'une source de potentiel élevé, les produits traités favoriseront la décroissance de la charge, et cela sur plusieurs heures, alors que des produits non traités continueront à accumuler des charges à leur surface jusqu'à atteindre une quantité susceptible de générer une décharge par étincelle.

CARACTÉRISATION ANTISTATIQUE DE VT ET D'EPI TESTÉS EN CONDITIONS QUASI RÉELLES D'UTILISATION (MANNEQUIN)

Les méthodes normalisées se limitent à des mesures sur des échantillons de matière découpés dans les VT ou les EPI. A l'heure actuelle, il n'existe pas de mode opératoire permettant de s'assurer que les propriétés du vêtement dans son intégralité sont similaires à celles du tissu dont il est constitué.

De plus, qualifier un VT ou un EPI sur la base de mesures de résistance ou d'atténuation ne permet pas de conclure précisément quant à son caractère antistatique.

Suite à ces différents constats, il est apparu primordial de proposer une méthode complémentaire aux modes opératoires normalisés afin de tenir compte des conditions réelles d'utilisation du VT ou de l'EPI dans le milieu industriel.

Cette méthode prend en compte les aspects et paramètres suivants :

- la confection du VT ou de l'EPI dans son ensemble (coutures, poches, logos, scratches, fermetures-éclair...),
- la résistance des chaussures et du sol,
- la capacité électrique de la personne qui porte le VT ou l'EPI.

MODE OPÉRATOIRE

L'INERIS a développé, à titre expérimental, un outil complémentaire de test en laboratoire permettant d'évaluer le VT ou l'EPI dans des conditions plus

réalistes en mettant en œuvre un mannequin représentant l'opérateur. Ce mannequin a été développé pour avoir les mêmes caractéristiques que celles du corps humain (capacité électrique du corps et résistivité de la peau).

La résistance des chaussures, paramètre influant sur l'évacuation des charges, a été fixée à $10^8 \Omega$. La résistance du sol n'a pas été prise en compte pour ces essais (le sol est considéré ici comme conducteur) dans le but de limiter le nombre de variables, mais aussi par manque de recul sur son influence.

Dans cette configuration, le mannequin permet de simuler un opérateur équipé d'un VT ou d'un EPI, muni de chaussures antistatiques et évoluant sur un sol conducteur ($R < 10^6 \Omega$).

Le test consiste à soumettre le mannequin et son équipement à une charge par influence. Une fois celui-ci chargé, une étincelle de décharge est récupérée à la surface du VT ou de l'EPI.

Toutes les mesures ont été effectuées dans des conditions de température et d'humidité régulées respectivement à $22^\circ\text{C} \pm 2$ et $30\% \text{ HR} \pm 5$. Pour la préparation de ces mesures, les mêmes équipements que ceux testés précédemment ont été conditionnés à ces valeurs pendant 24 heures.

CRITÈRES D'ACCEPTABILITÉ

L'objectif est de pouvoir donner un avis sur le produit final qui sera réellement porté par l'opérateur et, ainsi, de mettre en correspondance les résultats et les critères d'acceptabilité pour une mise en œuvre dans les différentes zones ATEX. En effet, il apparaît insuffisant de ne baser les critères d'acceptabilité que sur des résultats de mesure de la résistance électrique ou d'atténuation. Il semble pertinent de tenir compte des quantités de charges électrostatiques résiduelles à la surface du VT ou de l'EPI dans son ensemble et porté par l'opérateur, en intégrant la capacité électrique de ce dernier.

Ces quantités de charges peuvent être comparées aux exigences de la norme EN 13463-1 qui prescrit, pour le matériel non électrique destiné à être utilisé en atmosphère explosive en fonction de groupe de gaz/vapeurs ou de poussières, des valeurs maximales n'entraînant pas l'inflammation du mélange (cf. Tableau III).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Des essais préliminaires ont montré l'influence de l'épaisseur séparant la peau du VT ou de l'EPI (les quantités de charges mesurées peuvent aller du simple au double entre des parties bien plaquées contre la peau et des parties plus éloignées, comme le bas du dos). Ainsi, deux modes de port du VT ou de l'EPI ont été testés en fonction de l'épaisseur séparant le mannequin de l'équipement :

- un mode « été » où le VT ou l'EPI est directement en contact avec la peau ou porté sur un t-shirt de coton,

- un mode « hiver » où le VT ou l'EPI est porté par dessus un blouson en polyester (correspondant à une couche de 2 cm d'épaisseur) caractérisé par une résistance transversale de $7,02 \times 10^{12} \Omega$, le VT ou l'EPI ne restant en contact direct avec la peau qu'au niveau des poignets et du cou.

Le *Tableau IV* regroupe les valeurs expérimentales de charge mesurées sur le VT ou l'EPI.

Les résultats montrent un écart entre les produits traités et ceux non traités. Ces écarts peuvent s'expliquer de différentes façons :

- les matériaux utilisés pour les EPI subissent des traitements spécifiques destinés à les rendre résistants au feu, à des produits chimiques... Ces traitements sont généralement résistifs et limitent donc la dissipation des charges, la quantité de charge résiduelle en surface est donc plus importante ;

- les fils conducteurs utilisés dans les VT ou EPI ne sont pas en contact direct avec la terre. Cela crée une capacité supplémentaire qui favorise l'accumulation de charges à la surface du produit, qui tend alors à se comporter comme un conducteur isolé.

Ces résultats confirment, de plus, l'influence significative de l'épaisseur de la couche portée sous le VT ou l'EPI. Il apparaît nettement que les équipements portés selon le mode « été » présentent des quantités de charges plus faibles qu'en mode « hiver ». Le niveau élevé de charges mesuré en mode « hiver » est principalement dû à l'éloignement de l'équipement par rapport à la peau, comme expliqué par la *Figure 1*. Cet éloignement génère une plus grande résistance et crée une capacité électrique plus importante, isolée par rapport à la terre.

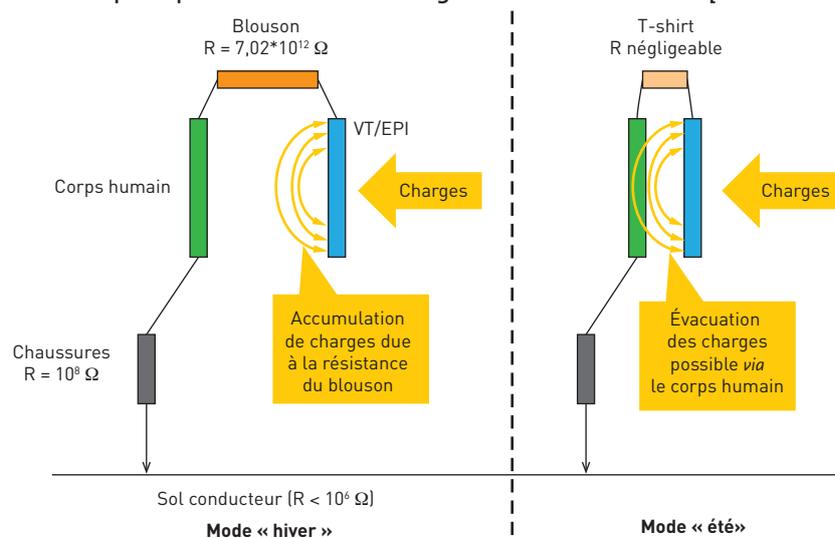
TABLEAU IV

Résultats des tests des VT et des EPI (type blouse, pantalon, combinaison) selon la méthode du mannequin - modes « été » et « hiver »

Mode	Valeurs expérimentales de quantités de charge mesurées en laboratoire (nC)				
	Produits traités « antistatique »			Produits non traités « antistatique »	
	A	B	C	D	E
« Été »	[30 ; 60]	[30 ; 60]	[30 ; 60]	[10 ; 30]	[10 ; 30]
« Hiver »	> 200	Non réalisé	> 200	[60 ; 200]	[60 ; 200]

FIGURE 1

Schéma de principe d'évacuation des charges - méthode du mannequin



Pour le mode « été », les quantités de charges chevauchent les limites d'acceptabilité évoquées plus haut. Pour le mode « hiver », les quantités de charges mesurées dépassent les valeurs limites spécifiées pour les gaz et vapeurs (cf. *Tableau III*).

Des mesures complémentaires de temps de décharge sur le mannequin ont été effectuées afin de déterminer le temps nécessaire à un VT ou un EPI pour perdre 80 % de sa charge initiale. Les résultats montrent de nouveau l'influence des vêtements portés sous le VT ou l'EPI. En effet, cette durée passe de moins de trois secondes en mode « été » à plus d'une minute en mode « hiver ».

Ainsi, un opérateur revêtu d'un VT ou d'un EPI par-dessus un blouson en polyester est capable d'être porteur d'une énergie suffisamment importante pour enflammer une atmosphère explosive gazeuse, cette situation critique pouvant durer au moins une minute.

Les mesures effectuées sur les VT et les EPI révèlent aussi un problème lié à la confection du vêtement. En effet, les éléments de type « poche » ou « élastique » présentent des valeurs de charge

plus élevées que celles mesurées sur les parties principales du produit. De plus, lorsqu'une étincelle de décharge est détectée au niveau du dos ou du torse par exemple, une deuxième étincelle de charge résiduelle supérieure à 60 nC est possible sur d'autres pièces du VT ou de l'EPI (bras, poche...). Il semble que ces résultats puissent être liés à des hétérogénéités de conception, la continuité électrostatique pouvant ne pas être assurée entre les différentes pièces d'un VT ou d'un EPI et entraîner par conséquent l'apparition d'autant d'étincelles qu'il y a de pièces cousues sur ce vêtement.

PROPRIÉTÉS ANTISTATIQUES D'AUTRES EPI : GANTS ET CHAUSSURES

GANTS

Un échantillon de gants d'utilisation standard a été testé dans les mêmes

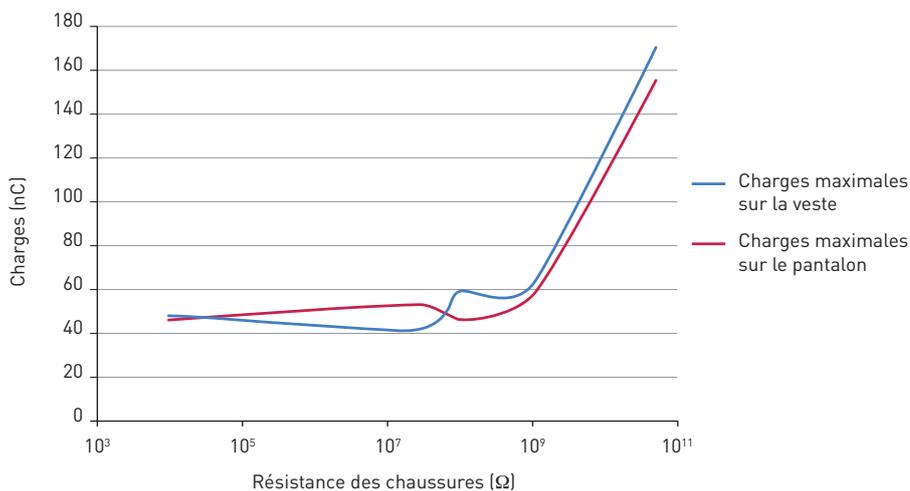
TABLEAU V

Résultats des tests de gants selon les normes de la série EN 1149 et selon la méthode du mannequin en mode « été »

Produits		Résistance de surface (Ω) (EN 1149-1)	Résistance transversale (Ω) (EN 1149-2)	Valeurs expérimentales de quantités de charge mesurées en laboratoire (nC)
Traités « antistatique »	Gants polyéthylène/coton	$1,02 \cdot 10^{11}$	$1,92 \cdot 10^{11}$	[10 ; 30]
	Gants caoutchouc/nitrile	$3,26 \cdot 10^9$	$5,87 \cdot 10^8$	[10 ; 30]
	Gants nitrile	$4,86 \cdot 10^9$	$3,99 \cdot 10^9$	[10 ; 30]
	Gants polyamide/cuivre	$2,48 \cdot 10^3$	$2,79 \cdot 10^3$	[10 ; 30]
Non traités « antistatique »	Gants latex	$3,19 \cdot 10^9$	$2,4 \cdot 10^{10}$	[60 ; 200]
	Gants cuir	$1,00 \cdot 10^{10}$	$8,21 \cdot 10^8$	[10 ; 30]

FIGURE 2

Evolution de la quantité de charges résiduelles sur les EPI en fonction de la résistance des chaussures



conditions que précédemment pour les vêtements (normes et mannequin en mode « été »). Les résultats de ces essais sont regroupés dans le *Tableau V*.

À l'exception des gants dopés au cuivre qui présentent les caractéristiques d'un bon matériau conducteur, les valeurs de résistance mesurées sont au-delà des exigences de la norme EN 1149-5 ($2,5 \cdot 10^9 \Omega$).

Par ailleurs, les mesures effectuées sur les gants montrent que la matière constitutive n'influe que très peu sur la quantité de charges résiduelle récupérée dans une étincelle de décharge bien que les valeurs de résistance de surface et transversale soient différentes. Seuls les gants latex donnent une mesure de charge élevée (dépassant les seuils critiques pour les gaz et vapeurs) pour des valeurs de résistance comparables aux autres produits.

D'une manière générale, la petite surface des gants peut expliquer le faible niveau de charge relevé.

En pratique, il faut cependant veiller à ce que le caractère isolant des gants n'engendre pas de situation à risque électrostatique supplémentaire. En effet, lorsqu'un opérateur, muni de gants isolants, manipule des outils portatifs métalliques, ces derniers se trouvent isolés de la terre. Ils sont donc susceptibles de déclencher des décharges d'énergie bien plus importantes que celles du gant lui-même.

CHAUSSURES

Des mesures ont été effectuées sur un EPI de type A (veste et pantalon avec technologie fibre antistatique de carbone à cœur) suivant la méthode du mannequin en mode « été » en ne faisant varier que la résistance des chaus-

sures, de manière à mettre en évidence leur influence sur la charge des EPI.

Les résultats (cf. *Figure 2*) montrent que les chaussures font partie des équipements indispensables pour la bonne dissipation des charges. En effet, un seuil critique de résistance à ne pas dépasser pour garder une dissipation optimale des charges se situe aux environs de $10^9 \Omega$. Au-delà, l'EPI et l'opérateur tendent à se comporter comme des conducteurs isolés. S'ils s'approchent d'une partie conductrice reliée à la terre, l'étincelle produite sera le résultat des charges accumulées sur l'EPI mais aussi de celles de l'opérateur.

Lorsque la résistance des chaussures diminue, les charges électrostatiques résiduelles ne diminuent pas proportionnellement. L'EPI conserve alors son propre temps de décharge non influencé par les chaussures. Le port des chaussures ayant une résistance bien inférieure à $10^8 \Omega$ ne permet donc pas de favoriser de manière plus importante la décharge à la surface de l'EPI comparativement à des chaussures ayant une résistance comprise entre 10^8 et $10^9 \Omega$.

En zone ATEX, il est cependant demandé une résistance inférieure à $10^8 \Omega$ (CEI 61340-4-3, norme spécifique à l'antistatisme des chaussures) pour prendre en considération la résistance du sol lui-même ainsi que les imperfections et pertes de conduction liées aux conditions d'utilisation.

A noter que la résistance ne doit pas non plus être inférieure à $10^6 \Omega$ pour éviter les chocs électriques liés aux courants vagabonds pouvant apparaître dans le sol.

EFFETS DE L'USAGE ET DU NETTOYAGE SUR LES PROPRIÉTÉS ANTISTATIQUES D'UN VT OU D'UN EPI

Malgré les propriétés antistatiques disparates observées sur les produits testés, il a paru intéressant de visualiser l'évolution de leur caractère dissipateur en prenant comme cas d'étude un EPI porté quatre mois et ayant subi un certain nombre de cycles de nettoyage.

Deux situations industrielles ont été choisies avec des EPI identiques.

Leur lavage a été effectué par une société de nettoyage, selon les prescriptions du fournisseur. Ils ont été testés selon la méthode du mannequin décrite précédemment, en mode « été ».

Ces premiers résultats (cf. *Tableau VI*) montrent une dégradation du caractère antistatique avec une augmentation de la quantité de charges sur les EPI usagés qui dépasse les exigences liées à leur utilisation en zone ATEX gaz/vapeurs. De plus, il est à noter que les méthodes et les produits utilisés pour le lavage (température, détachant, détergent, nettoyage à sec...) peuvent avoir une influence plus ou moins grande sur les propriétés antistatiques des produits lavés.

Enfin, les polluants pouvant se retrouver sur l'EPI (produits chimiques, graisses, poussières minérales ou organiques...) ainsi que les agressions physiques subies lors de son utilisation (trous, usure, frottement répété, tissu distendu...) peuvent avoir autant d'impact que le lavage sur ses propriétés antistatiques.

TABLEAU VI

Résultats des tests d'EPI, avant et après utilisation et lavage, selon la méthode du mannequin en mode « été »

Activité	Valeurs expérimentales de quantités de charge mesurées en laboratoire (nC)		Nombre de lavages
	état neuf	état usagé	
Chantier BTP	[30 ; 60]	[60 ; 200]	5
Entretien dans l'agroalimentaire		[60 ; 200]	15

CONCLUSION : PISTES DE RECHERCHE

Cette étude, menée par l'INRS en collaboration avec l'INERIS, a permis de faire un état des lieux des textes existants (réglementation, normes, modes opératoires et critères d'acceptabilité) utilisés pour évaluer le caractère antistatique d'un VT ou d'un EPI. Des tests comparatifs en laboratoire ont permis de mesurer la difficulté d'évaluer les propriétés dissipatrices des VT et des EPI en vue de leur utilisation dans une zone à risque d'explosion.

Il est donc essentiel de poursuivre la compréhension et la mise en évidence des facteurs influençant les propriétés électrostatiques des VT et des EPI pour mieux cerner et valider leur utilisation en zone à risque d'explosion. Ainsi, il serait judicieux de pouvoir mener des

travaux concernant les points suivants :

- stabiliser la méthode complémentaire de test et les critères d'acceptabilité correspondants afin de valider le caractère dissipateur d'un VT ou d'un EPI au regard de prescriptions liées à une utilisation en zone à risque d'explosion ;

- évaluer l'influence de paramètres externes (hygrométrie, chaussures, sol, couches portées sous le VT ou l'EPI, contacts au niveau des poignets, jambes...) sur la dissipation des charges ;

- étudier les effets des différents traitements (chimique, feu...) sur le comportement antistatique des EPI,

- étudier l'influence du vieillissement et de l'usage plus ou moins sévère des VT et des EPI (en fonction du secteur industriel) sur la conservation de leur caractère antistatique.

Reçu le : 30/03/2012

Accepté le : 04/05/2012

POINTS À RETENIR

- Les modes opératoires et les exigences des normes utilisées pour qualifier les propriétés « antistatiques » d'un VT ou d'un EPI semblent insuffisants pour conclure quant à une utilisation en zone à risque d'explosion. En effet, le fait de qualifier des VT ou des EPI comme étant antistatiques selon des tests de résistance ou d'atténuation de charges sur la base d'échantillons de textile n'est pas suffisant.
- Une méthode de test plus proche des conditions réelles d'utilisation a été développée expérimentalement par l'INERIS. Elle prend en compte le VT ou l'EPI complet tel que porté par un opérateur dans des conditions industrielles. Cette méthode a permis de mettre en évidence le rôle prépondérant de la nature et de l'épaisseur des couches portées sous le VT ou l'EPI. En effet, plus cette couche présente une résistance et/ou une épaisseur importante, moins les charges du VT ou de l'EPI se dissipent *via* le corps de l'opérateur.
- Les VT et les EPI testés selon le mode « hiver » présentent des quantités de charges résiduelles en surface plus importantes qu'en mode « été ». Ces quantités de charge, comparées avec les seuils admissibles de la norme EN 13463-1, ne permettent pas l'utilisation des VT et des EPI dans une atmosphère explosive gaz/vapeurs.
- Concernant les EPI de type gants et chaussures, les résultats montrent que leur niveau de charge ne dépasse guère le seuil de 60 nC (sauf pour le latex). Leurs petites surfaces peuvent expliquer ce faible niveau de charge résiduelle.
- L'usure et les cycles de lavage répétitifs ont un impact sur les caractéristiques antistatiques d'un VT ou d'un EPI. La dissipation des charges a tendance à diminuer avec le port d'un VT ou d'un EPI usagé.

BIBLIOGRAPHIE

Directive 89/686/CEE du 21 décembre 1989, concernant le rapprochement des législations des états membres relatives aux équipements de protection individuelle

Directive 94/9/CE du 23 mars 1994, concernant le rapprochement des législations des états membres pour les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles

Directive 1999/92/CE 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

Guide INRS ED 874 : *Electricité statique*

EN 1149-1 (2007) : *Vêtements de protection - Propriétés électrostatiques - Partie 1 : méthode d'essai pour la résistivité de surface*

EN 1149-2 (1997) : *Vêtements de protection - Propriétés électrostatiques - Partie 2 : méthode d'essai pour le mesurage de la résistance électrique à travers un matériau (résistance verticale)*

EN 1149-3 (2004) : *Vêtements de protection - Propriétés électrostatiques - Partie 3 : méthodes d'essai pour la mesure de l'atténuation de la charge*

EN 1149-5 (2008) : *Vêtements de protection - Propriétés électrostatiques - Partie 5 : exigences de performance des matériaux et conception*

CEI 61340-4-3 (2001) : *Electrostatique - Partie 4-3 : méthodes d'essai normalisées pour des applications spécifiques - Chaussures*

CEI 61340-5-1 (2001) : *Electrostatique - Partie 5-1 : protection des dispositifs électroniques contre les phénomènes électrostatiques - Prescriptions générales*

CLC/TR 50404 (CENELEC) - UTE C23 597 (2004) : *Electrostatique - Code de bonne pratique pour éviter les risques dus à l'électricité statique*

NF EN 13463-1 (2009) : *Appareils non électriques destinés à être utilisés en atmosphères explosibles - Partie 1 : prescriptions et méthodologie*

