

Rémy PERROT

Docteur de l'Université de Limoges spécialité hyperfréquences. Il entre en avril 1999 comme ingénieur à l'UTAC au service CEM dont il est devenu le responsable en 2006.

Le service CEM de l'UTAC est ON au titre des directives 2004/108/CE & R&TTE 99/5/CE.

Expert CEM automobile au sein des groupes ISO/TC22/SC3/GT3 pour l'immunité et CISPR/D pour l'émission, il est président du groupe France UTE UF CISPR/D depuis Janvier 2008.

SOMMAIRE

- 1. Élaboration des normes**
- 2. Les normes d'émission**
- 3. Les normes d'immunité**
- 4. Synthèse et évolution en cours**



Définition



Remarque



Lien Internet

1. Élaboration des normes dans le secteur automobile

Les normes CEM automobiles actuellement utilisées dans le monde et plus particulièrement en France sont aujourd'hui des normes internationales. Ces normes sont classées selon les deux familles classiques en CEM : l'émission et l'immunité.

D CISPR : Comité international spécial pour les perturbations radioélectriques.

A. Les travaux du CISPR **D** : normalisation des méthodes d'émission

Historiquement, la préoccupation des effets des perturbations radioélectriques générées par les moteurs à explosion sur les récepteurs est aussi ancienne que l'invention de la TSF.

Tout naturellement les normes d'émission du secteur automobile sont issues du CISPR, créé en 1934. Cet organisme est divisé en sous-comités distincts identifiés par des lettres (actuellement A, B, D, F, H, I et S).

Le sous-comité D a en charge la prise en compte des perturbations électromagnétiques relatives aux appareils électriques ou électroniques embarqués sur les véhicules et aux moteurs à combustion interne. Il a été le premier dans le domaine de la normalisation à publier des documents qui traitaient de la protection de la réception radioélectrique à bord des véhicules à allumage commandé.

Ce sous-comité est divisé en deux groupes de travail (GT) numérotés 1 et 2 dont les objectifs sont respectivement :

- la protection des récepteurs utilisés dans les bâtiments, le long des routes ou en plein air ;
- la protection des récepteurs embarqués ou installés dans des véhicules proches.

Le GT1 a actuellement en charge la maintenance et la révision de la publication CISPR 12 dont la version actuelle est la cinquième édition (09/2001) et son amendement n° 1 (02/2005). Cette publication a pour titre : « *Véhicules, bateaux et engins entraînés par des moteurs à combustion interne. Caractéristiques des perturbations radioélectriques. Limites et méthodes de mesure pour la protection des récepteurs à l'exception de ceux installés dans les véhicules/bateaux/engins eux-mêmes ou dans des véhicules/bateaux/engins proches* ».

Une sixième édition est en cours de publication avec une parution attendue entre septembre 2007 et décembre 2008.

Le GT2 a, quant à lui, en charge la maintenance et la révision de la publication CISPR 25 dont la version actuelle est la seconde édition (08/2002).

Cette publication a pour titre : « *Caractéristiques des perturbations radio-électriques pour la protection de récepteurs utilisés à bord des véhicules, des bateaux et des engins. Limites et méthodes de mesure* ».

Une troisième édition est en cours de publication avec une parution attendue entre septembre 2007 et décembre 2008.

B. Les travaux de l'ISO : normalisation des méthodes d'immunité

C'est le groupe de travail n° 3 (perturbations radioélectriques) du sous-comité n° 3 (équipements électriques et électroniques) du comité technique 22 (véhicules routiers) ISO/TC22/SC3/GT3 qui a en charge, depuis la fin des années 1980, la normalisation des méthodes d'essais en immunité. Cela s'est traduit dans un premier temps par la prise en compte des phénomènes transitoires conduits présents sur le réseau de bord des véhicules. La série des ISO 7637 a ainsi vu le jour en 1990 (tab. 1.1).

| N° | Titre | Édition |
|-------------|---|----------|
| ISO 7637-1 | Véhicules routiers – Perturbations électriques par conduction et par couplage – partie 1 : Définitions et généralités. | 2 (2002) |
| ISO 7637-2 | Véhicules routiers – Perturbations électriques par conduction et par couplage – partie 2 : Transmission des perturbations électriques transitoires par conduction uniquement le long des lignes d'alimentation. | 2 (2004) |
| ISO 7637-3 | Véhicules routiers – Perturbations électriques par conduction et par couplage – partie 3 : Transmission des perturbations électriques transitoires par couplage capacitif ou inductif le long des lignes autres qu'alimentation. | 1 (1995) |
| ISO 10605 | Véhicules routiers – Méthodes d'essai des perturbations électriques provenant de décharges électrostatiques. | 1 (2001) |
| ISO 11451-1 | Véhicules routiers – Méthodes d'essai d'un véhicule soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite – partie 1 : Principes généraux et terminologie. | 3 (2005) |
| ISO 11451-2 | Véhicules routiers – Méthodes d'essai d'un véhicule soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite – Partie 2 : Sources de rayonnement hors véhicule. | 3 (2005) |
| ISO 11451-3 | Véhicules routiers – Méthodes d'essai d'un véhicule soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite – Partie 3 : Rayonnement par émetteur embarqué. | 1 (1994) |
| ISO 11451-4 | Véhicules routiers – Méthodes d'essai d'un véhicule soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite – Partie 4 : Méthode d'injection de courant (BCI). | 2 (2006) |
| ISO 11452-1 | Véhicules routiers – Méthodes d'essai d'un équipement soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite – partie 1 : Principes généraux et terminologie. | 3 (2005) |
| ISO 11452-2 | Véhicules routiers – Méthodes d'essai d'un équipement soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite – partie 2 : chambre anéchoïque. | 2 (2004) |
| ISO 11452-3 | Véhicules routiers – Méthodes d'essai d'un équipement soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite – partie 3 : cellule à mode électromagnétique transverse (TEM). | 2 (2001) |
| ISO 11452-4 | Véhicules routiers – Méthodes d'essai d'un équipement soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite – partie 4 : Méthodes d'injection de courant (BCI). | 3 (2005) |
| ISO 11452-5 | Véhicules routiers – Méthodes d'essai d'un équipement soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite – partie 5 : Ligne TEM à plaque. | 2 (2002) |
| ISO 11452-7 | Véhicules routiers – Méthodes d'essai d'un équipement soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite – partie 7 : Injection directe de puissance aux fréquences radioélectriques (RF). | 2 (2003) |

Tab. 1.1. Normes internationales pour l'automobile.



Par la suite, l'influence des phénomènes « bandes étroites » a été traitée, ce qui a abouti au milieu des années 1990 à la création des normes ISO 11451 et 11452. Les phénomènes transitoires rayonnés des décharges électrostatiques ont d'abord été abordés au travers d'un rapport technique ISO/TR10605 en 1994 et ont fini par être normalisés sous le même numéro en 2001 (norme toujours en vigueur à ce jour).

C. Groupes « miroir » français

En parallèle à ces deux instances internationales, les experts français se réunissent au sein de deux groupes de travail pour préparer les documents techniques qui appuieront leurs arguments dans les trois groupes de travail précédemment cités.

D UTE : Union technique de l'électricité.

Une commission UTE **D** a en charge l'action française au sein du CISPR/D et le groupe BNA 303 celui de l'ISO.

Dans le passé, ces groupes ont été amenés à créer des normes françaises afin d'expérimenter ces méthodes d'essai, de disposer d'une autonomie nationale et d'appuyer leurs positions internationales au même titre que l'Allemagne, les États-Unis ou le Japon.

Ainsi, entre 1993 et 2000, deux éditions de normes se sont succédées en tant que normes françaises NF R 1300n.

Ces normes étaient divisées en deux familles :

- les normes « véhicules » NF R 13006 **W** pour les premières éditions et NF R 13008 **W** pour les secondes éditions ;
- les normes « équipements » NF R 13004 **W** et NF R 13007 **W** respectivement pour les premières et secondes éditions.

Ces normes peuvent être résumées dans le tableau 1.2.

| N° | Titre | Édition | Remplace |
|--------------|--|---------|--------------|
| NF R 13006-0 | Définitions | 1 | – |
| NF R 13006-1 | Qualification de l'immunité aux perturbations électromagnétiques en chambre semi anéchoïque (10 kHz à 1 GHz) | 1 | – |
| NF R 13006-2 | Qualification des perturbations émises par rayonnement (30 MHz à 1 GHz) | 1 | – |
| NF R 13006-3 | Qualification des perturbations électromagnétiques présentées en pied d'antenne (150 kHz à 1 GHz) | 1 | – |
| NF R 13008-1 | Définitions et Généralités | 2 | NF R 13006-0 |
| NF R 13008-2 | Qualification de l'immunité aux perturbations électromagnétiques en chambre semi-anéchoïque | 2 | NF R 13006-1 |
| NF R 13008-3 | Qualification des perturbations émises par rayonnement | 2 | NF R 13006-2 |
| NF R 13008-4 | Qualification des perturbations électromagnétiques présentées en pied d'antenne | 2 | NF R 13006-3 |
| NF R 13004-0 | Définitions et Généralités | 1 | – |
| NF R 13004-1 | Qualification des perturbations émises par conduction | 1 | – |
| NF R 13004-2 | Qualification des perturbations émises par rayonnement | 1 | – |
| NF R 13004-3 | Qualification de l'immunité aux perturbations bandes étroites rayonnées suivant la méthode de la cellule TEM (10 kHz à 200 MHz) | 1 | – |
| NF R 13004-4 | Qualification de l'immunité aux perturbations bandes étroites rayonnées suivant la méthode de la chambre absorbante (200 MHz à 1 GHz) | 1 | – |
| NF R 13004-5 | Qualification de l'immunité aux perturbations bandes étroites rayonnées suivant la méthode de l'injection de courant (1 MHz à 400 MHz) | 1 | – |
| NF R 13004-6 | Qualification de l'immunité aux décharges électrostatiques | 1 | – |
| NF R 13007-1 | Définitions et Généralités | 2 | NF R 13004-0 |
| NF R 13007-2 | Qualification des perturbations émises par conduction | 2 | NF R 13004-1 |
| NF R 13007-3 | Qualification des perturbations émises par rayonnement | 2 | NF R 13004-2 |
| NF R 13007-5 | Qualification de l'immunité aux perturbations bandes étroites rayonnées suivant la méthode de la chambre absorbante (200 MHz à 1 GHz) | 2 | NF R 13004-4 |
| NF R 13007-6 | Qualification de l'immunité aux perturbations bandes étroites rayonnées suivant la méthode de l'injection de courant (1 MHz à 400 MHz) | 2 | NF R 13004-5 |

Tab. 1.2. Normes françaises.

Le développement actuel en normalisation étant à l'uniformisation des méthodes du point de vue mondial, la maintenance de ces normes a été abandonnée au profit d'action directement sur les normes internationales. Il existe encore des documents applicables à l'heure actuelle qui y font référence, mais ces références devraient disparaître lors de leur prochaine révision au profit des normes internationales.

D. Terminologie spécifique

Les normes définissent comme objet de l'essai le DSE^D. Ce peut être un véhicule, une machine ou un engin, mais également, lorsqu'il s'agit d'une partie de ces véhicules, machines ou engins des ETS^D ou tout simplement des équipements.

^D DSE : Dispositif soumis à l'essai.

^D ETS : Entités techniques séparées.

2. Les normes d'émission

Il existe en automobile deux normes d'émission issues du CISPR/D. Ces normes ne se limitent pas au domaine automobile, même si elles en sont issues, mais traitent plus largement des véhicules (véhicules légers, autobus, poids lourds, skidoo, motocyclettes...), bateaux et engins (tondeuses, groupes électrogènes) étant mus par ou utilisant des moteurs à combustion interne ou électriques.

La norme CISPR 12 ne traite que des mesures sur véhicule alors que la norme CISPR 25 propose une méthode d'essais véhicule et plusieurs méthodes d'essai sur les ETS. Ces deux normes ont pour but la mesure fréquentielle des perturbations générées par les véhicules et leurs équipements.

Une norme d'immunité comporte un volet d'émission. Il s'agit de l'ISO 7 637-2 : 2004 (2^e édition). Son domaine d'expertise est plus restreint car la partie émission de cette norme a pour but la mesure temporelle conduite des perturbations générées par les équipements des véhicules routiers sur leurs lignes d'alimentation.

A. Généralités sur les mesures d'émission

Les deux normes d'émission en CEM automobile partagent plusieurs points communs, en particulier en ce qui concerne les paramètres de mesure des appareils utilisés ainsi que la classification des perturbations en bande étroite ou en bande large.

a. Appareils de mesure

Deux types d'appareils peuvent être utilisés pour réaliser les mesures d'émission, les analyseurs de spectre et les récepteurs de mesure.

D *Détecteur de valeur moyenne* : Détecteur délivrant une tension proportionnelle à l'amplitude, à la largeur et à la fréquence de répétition des impulsions.

Chacun possède son propre algorithme de mesure et doit posséder les détecteurs **D** suivants :

- crête ;
- quasi-crête ;
- moyenne.

Les paramètres des détecteurs sont définis à 2 ou 3 dB pour les analyseurs de spectre pour des bandes passantes de 10 et 100 kHz. La bande passante vidéo doit être au moins trois fois la bande passante utilisée.

Les temps de balayage minimaux de l'analyseur de spectre sont donnés dans le tableau 2.1.

| Temps de mesure | Détecteur crête | Détecteur quasi-crête |
|-----------------|--|-----------------------|
| 0,15–30 MHz | 100 ms/MHz | 200 s/MHz |
| 30–1 000 MHz | 1 ms/MHz (BP 120 kHz) 100 ms/MHz (BP 9 kHz) | 20 s/MHz |

Tab. 2.1. Temps de mesure pour les analyseurs de spectre.

Pour les récepteurs de mesure, les paramètres des détecteurs sont définis à – 6 dB pour des bandes passantes de 9 kHz et de 120 kHz.

Les pas de fréquence associés peuvent être choisis jusqu'à 70 % de la bande de résolution sans trop dégrader la qualité du résultat, mais une valeur de 50 % de cette bande est mieux adaptée et permet de réaliser des mesures ayant des incertitudes sur le résultat d'essai plus faibles.

Le temps de mesure doit être choisi en fonction de la récurrence temporelle du signal mesuré, par exemple 5 à 20 ms pour les cartes électroniques, de l'ordre de 50 à 100 ms pour les moteurs de type moteur thermique.

Les temps proposés pour les analyseurs de spectre sont issus du CISPR 16-1 : 1999 et permettent de réaliser les mesures plus rapidement. Cependant, si l'on compare les temps utilisés pour les récepteurs de mesure et ceux proposés pour les analyseurs de spectre, il apparaît que les vitesses de balayage des analyseurs de spectre conseillées par défaut sont trop rapides pour permettre de mesurer correctement l'enveloppe de la perturbation. Il est donc conseillé d'utiliser des temps en rapport avec ceux obtenus pour les récepteurs de mesure. La prochaine version des publications 12 et 25 du CISPR intégrera la prise en compte de ces exigences.

b. Notions de bande large et de bande étroite

Il y a une vingtaine d'années, les experts ont, dans le cadre d'un *workshop*, estimé l'impact des perturbations sur la réception radio à bord des véhicules. Le but était de mettre en évidence que les moteurs génèrent par nature des niveaux de perturbations plus élevés que les circuits électroniques, mais que ces niveaux de perturbation large bande sont moins perturbateurs vis-à-vis de la réception radio que les oscillateurs ou horloges des circuits électroniques. Ce *workshop* a permis de mettre en évidence que la réception radio était moins sensible aux *perturbations* de type *bande large* ^D d'environ 13 à 16 dB qu'aux *perturbations* de type *bande étroite* ^D.

Il a donc été décidé de définir deux types de limites :

- une pour les perturbations bande étroite ;
- une pour les perturbations bande large.

Ces deux limites sont toujours données pour une mesure réalisée avec un détecteur crête. Les limites bande large peuvent également être évaluées à l'aide d'un détecteur quasi-crête.

De fait, en l'absence de connaissance préalable de la nature du signal mesuré, un moyen de distinguer chaque type de perturbation a été défini.

Ce mode de discrimination doit toujours être réalisé avec les deux détecteurs mesurant dans la même bande passante et si possible lors de la même mesure (fig. 2.1).

^D *Perturbation bande large* : perturbation dont le spectre est plus large que la largeur de bande du récepteur qu'elle parasite.

^D *Perturbation bande étroite* : Perturbation dont le spectre est moins large que la largeur de bande du récepteur qu'elle parasite.

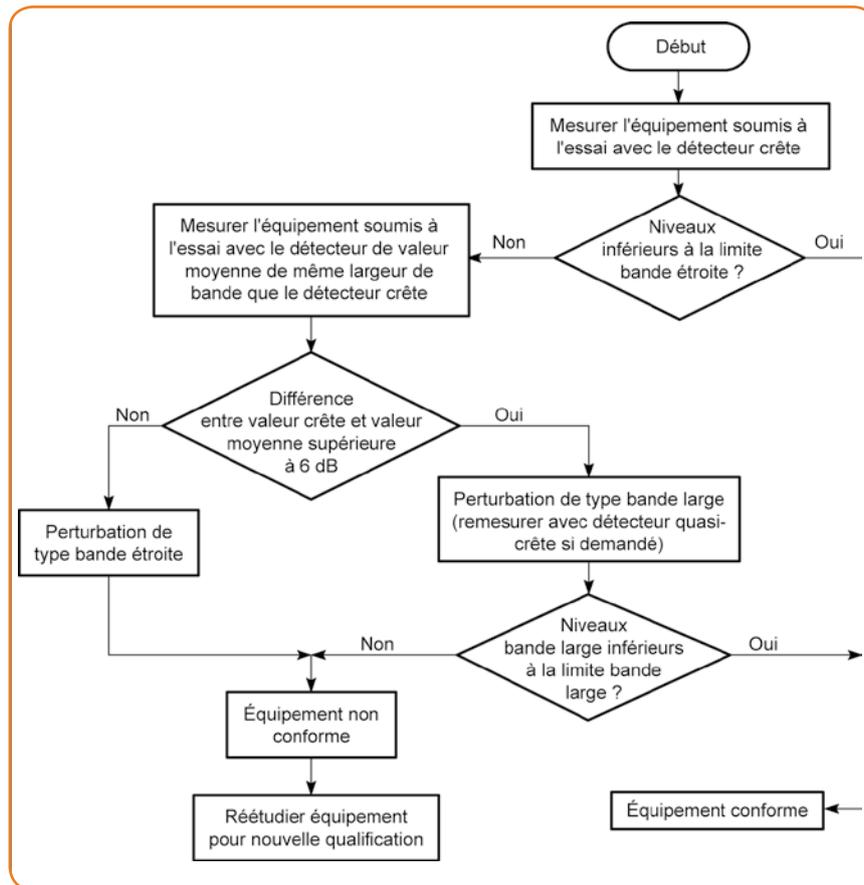


Fig. 2.1. Discrimination bande étroite/bande large.

c. Conformité

D DSE : Dispositif soumis à l'essai.

Pour obtenir la conformité d'un DSE **D** aux limites de la méthode de mesure appliquée, il faut soit que la mesure crête soit inférieure à la limite bande étroite, soit que la mesure des parasites classés en bande étroite soit inférieure à la limite bande étroite et que la mesure des parasites classés en bande large soit inférieure à la limite bande large.

B. CISPR 12

La publication CISPR 12 : 2001 traite des machines équipées d'un moteur thermique ou électrique : voir annexe G pour la définition/l'exclusion des véhicules/engins couverts par la norme. L'amendement de 2005 propose des méthodes de mesure pour les véhicules de type hybrides (à la fois électriques et thermiques). Sont exclus de cette norme les machines comportant un moteur à combustion interne ou électrique n'étant pas opérationnelles sur la surface de l'eau ou au sol, les bateaux de plus de 15 m, les trains, les trolleybus et les appareils médicaux ainsi que les machines qui ne sont pas mues par le moteur à combustion interne en étant alimentées par le secteur ou si elles ne sont pas alimentées par le secteur mais destinées au transport de personnes ou de marchandises (voir annexe G pour la définition/l'exclusion des véhicules/engins couverts ou non par la norme).

Son domaine d'application couvre les fréquences comprises entre 30 MHz et 1 GHz.

L'objectif de cet essai est de mesurer le niveau de perturbation généré par les dispositifs définis ci-dessus afin de s'assurer qu'ils ne vont pas perturber les réceptions radio des différents récepteurs utilisés à proximité.

a. Spécifications de mesure

Site de mesure

Les limites présentées dans la présente publication ont été établies pour des mesures réalisées en site d'espace libre. Ce site est défini dans la norme selon que l'objet soumis à l'essai est destiné à être posé sur le sol ou un bateau.

Dans les deux cas, les mesures doivent être réalisées dans une zone plane et dégagée de 30 m de rayon au minimum. Le centre du cercle imaginaire de la zone de mesure doit correspondre au centre de la distance entre l'engin ou le véhicule soumis à l'essai et l'antenne de mesure. L'antenne de mesure doit être face au centre du moteur de l'engin ou de l'appareil soumis à l'essai. Dans le cas d'engins ou de véhicules dont l'encombrement occupe une surface au sol incluse dans un carré de 2 m de côté, le site utilisé peut être réduit selon les prescriptions de la norme CISPR 16-1 : 1999. Le sol utilisé est celui qui est présent (généralement du bitume ou un plan d'eau douce ou salée suffisamment calme). L'appareillage de mesure doit être placé à plus de 15 m de l'antenne de mesure. Dans le cas d'essais réalisés sur l'eau, l'antenne doit être disposée sur une embarcation ou une plate-forme non métallique.

Avant de démarrer l'essai, il est nécessaire de s'assurer que le bruit de fond du site de mesure est au moins de 6 dB en dessous des limites.

Alternativement les essais peuvent être réalisés à l'intérieur de cages anéchoïques ou semi-anéchoïques, lorsqu'une étude existe permettant de définir les corrélations existantes entre le site d'essais choisi et le site ouvert de référence.

Distance de mesure

Par défaut, les mesures doivent être réalisées à 10 m du véhicule, avec l'antenne de mesure à 3 m de hauteur. Il est possible, lorsque l'objet soumis à l'essai (engin/véhicule/machine) est de taille inférieure à 3,5 m, de se rapprocher à 3 m du dispositif soumis à l'essai, pour une antenne placée à 1,8 m de hauteur. Si le dispositif soumis à l'essai est plus grand que 3,5 m et qu'il est choisi de faire les essais à 3 m, il faut alors appliquer l'annexe H de la norme pour définir le nombre de mesures à réaliser.

b. Conditions d'essai spécifiques

Les essais doivent être réalisés par temps « sec », c'est-à-dire qu'ils ne doivent pas être réalisés lorsque des précipitations sont en cours et il faut attendre au moins 10 min une fois qu'elles se sont arrêtées. L'engin ou le véhicule doit être placé sur le sol.

Lorsque l'engin ou le véhicule comporte plusieurs moteurs, un essai par type de moteur doit être réalisé. Le moteur soumis à l'essai doit être à sa température

nominale de fonctionnement et tous les appareils annexes de l'objet soumis à l'essai mis en fonctionnement.

Les perturbations rayonnées des moteurs à combustion interne doivent être mesurées à 1 500 ($\pm 10\%$) tr/min lorsqu'ils possèdent plus d'un cylindre et 2 500 ($\pm 10\%$) tr/min pour les moteurs monocylindre.

Les perturbations rayonnées des véhicules entraînés par un moteur électrique doivent être mesurées uniquement avec un détecteur crête lorsque le véhicule est placé sur un banc à rouleau et que le véhicule évolue à une vitesse stabilisée de 40 km/h.

L'amendement de 2005 précise les conditions de mesure des véhicules hybrides électriques thermiques pour lesquels l'essai doit être réalisé avec les deux systèmes fonctionnant simultanément, les conditions d'essais électriques et thermiques étant simultanées (c'est-à-dire vitesse stabilisée 40 km/h, à 1 500 tr/min pour les moteurs thermiques multicylindres).

Pour les engins dont le moteur est à hauteur variable, celui-ci doit être placé de sorte qu'il soit surélevé de 1 m au-dessus du sol.

c. Conformité

Le niveau maximum mesuré pour une bande passante de 120 kHz retenu est le maximum des quatre mesures suivantes pour chaque configuration :

- mesure côté gauche, polarisation de l'antenne de mesure horizontale ;
- mesure côté gauche, polarisation de l'antenne de mesure verticale ;
- mesure côté droit, polarisation de l'antenne de mesure horizontale ;
- mesure côté droit, polarisation de l'antenne de mesure verticale.

Lorsqu'il y a plusieurs configurations, c'est le niveau maximum de toutes les configurations qui permet de conclure à la conformité de l'engin ou du véhicule.

La conformité peut être établie selon deux types de procédés :

- par prélèvement et mesure d'un certain nombre d'objets soumis à l'essai selon les règles définies dans l'annexe A de la publication ;
- par mesure d'un objet soumis à l'essai représentatif de sa famille ; dans ce cas les limites doivent être diminuées de 2 dB pour prendre en compte l'éventuelle dispersion de fabrication de l'engin ou du véhicule dont la conformité est recherchée.

Si cette norme est utilisée pour vérifier la conformité de production, c'est-à-dire pour s'assurer qu'un produit qui avait été initialement déclaré conforme à cette norme est toujours conforme en production, les limites doivent alors être relâchées de 2 dB.

Alternativement il est défini que la conformité à la limite bande étroite peut être obtenue par la méthode d'essai « pied d'antenne véhicule » de la publication CISPR 25.

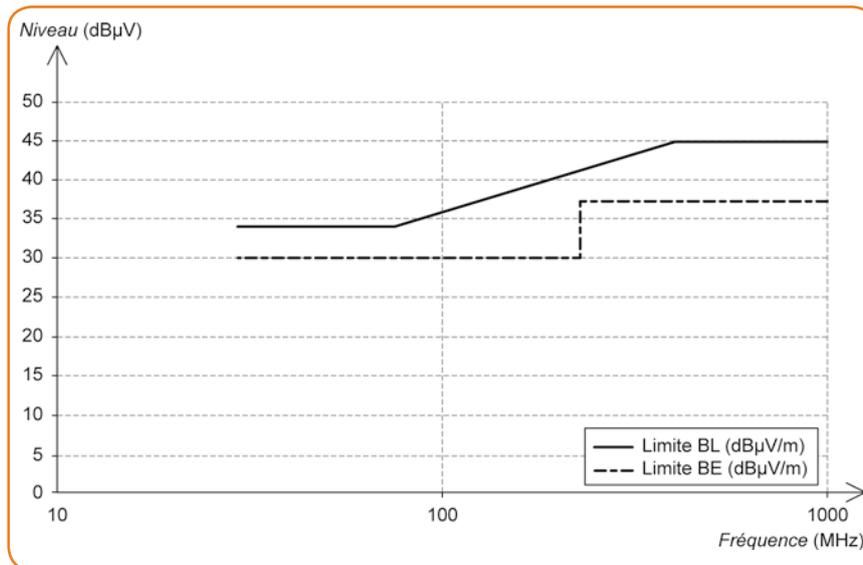


Fig. 2.2. Limites à 10 m pour le détecteur crête.

C. CISPR 25

La publication CISPR 25 : 2002 traite de la protection de la réception « radio » à bord de véhicules, bateaux et engins, et plus particulièrement vis-à-vis des perturbations générées par le véhicule/bateau/engin lui-même. À ce titre, elle propose plusieurs méthodes d'essai visant à évaluer le niveau de perturbation généré par les systèmes électriques embarqués à bord des véhicules/bateaux/engins tels que décrits précédemment pour la publication CISPR 12 (l'annexe A de la CISPR 25 concernant l'application de la présente publication est d'ailleurs identique à l'annexe G de la CISPR 12 précédemment citée) et des limites associées afin de protéger les récepteurs qui y sont installés. La première méthode a pour but d'évaluer les perturbations de ces systèmes lorsqu'ils sont installés dans un véhicule et les quatre suivantes sont applicables aux ETS^D (qu'elles soient d'origine ou raccordées ensuite directement sur le réseau de bord ou *via* une « prise accessoire ») destinées à être embarquées à bord de ces véhicules, bateaux et engins.

^D ETS : Entités techniques séparées.

Son domaine d'application couvre les fréquences comprises entre 150 kHz et 1 GHz.

a. Spécifications générales

En plus des prescriptions générales concernant les généralités des normes d'émission communes aux deux publications couramment utilisées dans l'automobile, la CISPR 25 classe les services de réception, définit les caractéristiques de l'emplacement du site d'essais, les conditions de fonctionnement, approfondit la notion de bande étroite/bande large, précise les bandes passantes de mesure en fonction des types de récepteur à protéger et définit les tensions d'alimentation à appliquer lors des essais.

D *Plan de masse* : La définition du vocabulaire électrotechnique international est : Plan de sol : surface conductrice plate dont le potentiel est pris comme référence. (VEI 50 161-04-36)

D *RSIL* : Réseau de stabilisation d'impédance de ligne.

Pour les essais sur les équipements lorsqu'ils ne sont pas installés à bord des véhicules, il est nécessaire d'utiliser un plan de masse **D** et des RSIL **D**. Ces éléments sont également définis.

Classification des services de réception

Les services de réception sont classés en deux familles (tab. 2.2) :

- radiodiffusion (le récepteur ne sert qu'à recevoir des informations, par exemple l'autoradio d'un véhicule léger) ;
- service mobile (la bande de fréquence est utilisée aussi bien pour recevoir qu'envoyer des informations, par exemple la CB).

| Radiodiffusion (MHz) | Services mobiles (MHz) |
|----------------------|------------------------|
| De 0,15 à 0,3 | De 30 à 54 |
| De 0,53 à 2,0 | De 68 à 87 |
| De 5,9 à 6,2 | De 142 à 175 |
| De 76 à 108 | De 380 à 512 |
| – | De 820 à 960 |

Tab. 2.2. Services de réception.

La partie immunité des émetteurs embarqués dans les véhicules est traitée plus loin dans les normes d'immunité (ISO 11451-3) **W**.

Les bandes décrites ci-dessus ne sont pas exhaustives, la prochaine édition (3^e) de la norme sera plus complète de ce point de vue.

Emplacements d'essai

Les essais réalisés selon le mode conduit doivent être réalisés à l'intérieur d'une cage de Faraday dont l'efficacité de blindage doit être suffisante pour permettre au niveau de bruit ambiant d'être inférieur de 6 dB à la limite à atteindre en fonction du système soumis à l'essai.

Pour les essais réalisés selon le mode rayonné, il est nécessaire d'utiliser une cage semi-anéchoïque. Dans ce cas, les règles suivantes s'appliquent :

- ni le véhicule, ni l'équipement soumis à l'essai, ni l'antenne de mesure ne doivent être à moins de 2 m d'une paroi métallique de la cage (à l'exception du sol) ;
- ni le véhicule, ni l'équipement soumis à l'essai, ni l'antenne de mesure ne doivent être à moins de 1 m des matériaux absorbants ;

- l'erreur maximale due à l'énergie réfléchi sur les parois recouvertes d'absorbant doit être inférieure ou égale à 6 dB.

Une annexe informative (G) propose une méthode pour qualifier les chambres semi-anéchoïques utilisées dans cette norme. Ce point particulier est à l'étude au comité CISPR/D, mais son contenu n'est pas jugé satisfaisant et sa révision et son passage en annexe normative ne devraient pas voir le jour avant la quatrième édition de la CISPR 25.

Conditions de fonctionnement

Pour les méthodes d'essais non réalisées sur le véhicule, l'équipement doit être mis dans un mode de fonctionnement représentatif de son utilisation lorsqu'il sera ensuite installé sur le véhicule/bateau/engin, au besoin à l'aide d'un banc de simulation. Le niveau maximum de perturbations générées par ce banc lorsqu'il est placé à l'intérieur de l'enceinte blindée, doit être au maximum de 6 dB en dessous de la limite à respecter. Le mode de fonctionnement imposé par ce banc doit à la fois être celui qui génère les niveaux de perturbation les plus élevés et être suffisamment stable pour qu'une fois décrit clairement, il soit possible de refaire l'essai à l'identique.

Classification des perturbations

Les sources de perturbations générées par les systèmes électriques sont classées en quatre familles :

- les perturbations bande large permanentes (issues de systèmes tels que des systèmes d'allumage ou des alternateurs) ;
- les perturbations bande large de longue durée (issues de systèmes tels que des moteurs d'essuie-glace ou des compresseurs d'air conditionnés) ;
- les perturbations bande large permanentes de courte durée (issues de systèmes tels que des moteurs de pompe lave-glace ou des fermetures centralisées) ;
- les perturbations bande étroites (issues de systèmes tels que des oscillateurs ou des générateurs d'horloge).

Le tableau 2.3 permet d'identifier la nature de la perturbation (bande étroite ou bande large) lorsqu'elle est inconnue. Le type de système permet de qualifier le type de bande large qu'il est susceptible de générer. Du point de vue des limites de perturbation acceptables, les systèmes de bande large continue et de longue durée sont considérés de la même manière alors que les limites pour les systèmes générant des perturbations en bande large de courte durée sont moins sévères que les autres limites bande large.

Bandes passantes

En fonction des bandes passantes utilisées, du type de perturbation mesurée et de la bande de fréquence dans laquelle la mesure est réalisée, les bandes passantes du tableau 2.3 doivent être utilisées.



| Bande de fréquence/service | Mesure bande large (détecteur crête ou quasi-crête) | Mesure bande étroite (détecteur crête ou moyenne) |
|--|---|---|
| De 0,15 MHz à 30 MHz (radiodiffusion AM) | 9 kHz | 9 kHz |
| De 76 MHz à 108 MHz (radiodiffusion FM) | 120 kHz | 120 kHz |
| De 30 MHz à 1 000 MHz (services mobiles) | 120 kHz | 9 kHz |

Tab. 2.3. Bandes passantes.

Tensions d'alimentation

Les tensions d'alimentation des équipements sont définies dans la norme (tab. 2.4).

| Type d'essai | Tensions nominale 12 V | Tension nominale 24 V |
|--------------------|------------------------|-----------------------|
| Essais véhicules | 12^{+2}_0 V | 24^{+4}_0 V |
| Essais équipements | $13,5 \pm 0,5$ V | 27 ± 1 V |

Tab. 2.4. Tensions d'alimentation.

Pour les essais sur les systèmes séparés, l'alimentation utilisée ne doit pas générer de perturbation supérieure à la limite -6 dB.

Plan de masse

L'utilisation d'un plan de masse en cuivre, en laiton ou en acier galvanisé, au minimum de 0,5 mm d'épaisseur est requise pour les essais sur les entités techniques séparées, à l'exception des essais réalisés en cellule TEM.

Il doit être placé à une hauteur de 900 ± 50 mm au-dessus du sol et relié à la masse de la cage de Faraday au travers de liaisons distantes les unes des autres de 30 cm au maximum, ayant une résistance en courant continu inférieure à 2,5 mΩ.

Les dimensions minimales requises sont de $1\ 000 \times 400$ mm pour les essais d'émission conduite et $2\ 000 \times 1\ 000$ mm pour les essais d'émission rayonnée. Dans tous les cas de figure, les dimensions du plan de masse doivent être suffisantes pour accueillir l'équipement et disposer de 20 cm supplémentaires dans toutes les directions.

RSIL

Pour les essais équipements, les lignes d'alimentation doivent être reliées au DSE au travers de réseaux fictifs.

Ces réseaux fictifs doivent être reliés électriquement au plan de masse utilisé pour les essais. Le pôle négatif est utilisé pour les équipements à masse déportée et optionnelle pour les équipements à masse locale.

Les réseaux fictifs à utiliser doivent avoir une inductance nominale de 5 μH. Les ports de mesure doivent être chargés sur 50 Ω lorsqu'ils ne sont pas utilisés pour réaliser les mesures.

L'impédance de charge du RSIL doit être telle que définie figure 2.3.

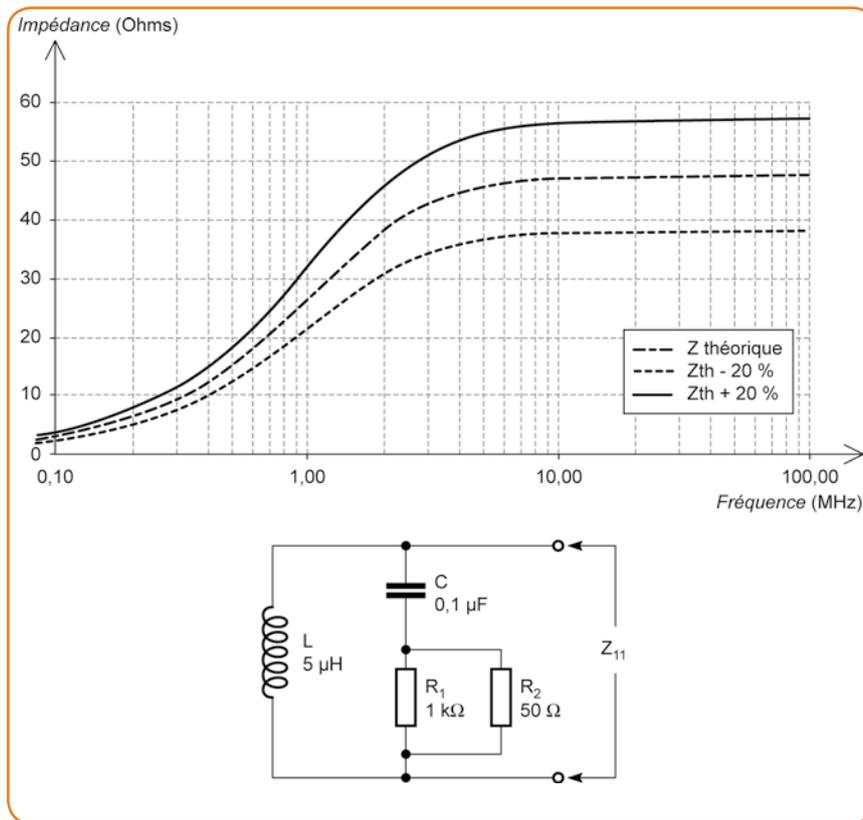


Fig. 2.3. Caractéristiques des RSIL.

Ces caractéristiques sont définies entre 100 kHz et 100 MHz. Par la suite, les RSIL sont utilisés dans plusieurs normes, aussi bien en émission qu'en immunité, pour de nombreux essais sur des entités techniques séparées. Même si la valeur du module de l'impédance du RSIL est normative et son influence sur le résultat d'essai reconnue, les valeurs mesurées avec des RSIL ne sont jamais corrigées de l'impédance caractéristique de ces réseaux.

Supports diélectriques

Pour les essais réalisés sur des équipements, ces derniers doivent être surélevés par rapport au plan de masse. La hauteur de ce support diélectrique varie selon les méthodes, mais est généralement de l'ordre de 50 mm. La permittivité électrique relative de ce support doit être inférieure à 1,4 dans la bande de fréquence de la méthode d'essai considérée. Ce support ne doit pas être en bois car les caractéristiques diélectriques du bois sont très variables en fonction de l'humidité.

b. Perturbations reçues par une antenne située sur le même véhicule

Cette méthode communément appelée « pied d'antenne » ne s'applique que sur des véhicules à moteur, engins et machines de chantier, contrairement aux autres méthodes décrites dans la norme CISPR 25.

L'objectif de cet essai est de mesurer le niveau de tension reçu (en volts ou plus précisément en décibels-microvolts) à l'entrée d'un récepteur embarqué, induit par l'antenne associée disposée sur le véhicule.

Spécifications de mesure

Lorsque cela est possible, l'antenne du véhicule est utilisée ; dans le cas contraire, un monopole $\frac{1}{4}$ d'onde adapté sur 50Ω est requis.

La disparité des antennes de réception dans les bandes de radiodiffusion AM et FM ainsi que leurs impédances caractéristiques de respectivement 135Ω et 70Ω rendent nécessaire l'utilisation d'un système d'adaptation. Les caractéristiques de ce système sont décrites dans l'annexe C de la CISPR 25 et sont rappelées dans le tableau 2.5 pour le module AM.

| | |
|-----------------------------|---|
| Bande de fréquence | De 0,15 MHz à 6,2 MHz |
| Impédance de sortie | 50Ω |
| Gain | Inclus dans une enveloppe de $6 \pm 0,5$ dB |
| Point de compression | 1 dB à 60 dB μ V |
| Niveau de bruit | - 6 dB par rapport à la limite |
| Dynamique de mesure | Du plancher de bruit au point de compression |
| Impédance d'entrée | Dix fois la valeur de circuit ouvert du dispositif simulant l'antenne (minimum $100 \text{ k}\Omega$ en parallèle sur 10 pF) |

Tab. 2.5. Caractéristiques du système d'adaptation.

D ROS : rapport d'onde stationnaire.

Pour le module FM, une adaptation n'est nécessaire que si le ROS **D** au bout du câble de l'antenne du véhicule est supérieur à 1:2.

Conditions d'essai spécifiques

Pour les antennes alimentées par le câble coaxial, un réseau de découplage spécifique devra être utilisé afin que l'antenne soit « active » lors de la mesure.

Lors des mesures réalisées dans les bandes de radiodiffusion AM, la masse du véhicule et celle de la cage doivent être isolées.

Conformité

La mesure doit être réalisée dans chacune des bandes de fréquence pour lesquelles un émetteur peut être installé sur le véhicule. Par défaut, les bandes de l'autoradio (services de radiodiffusion) sont à couvrir. Les valeurs présentées dans le tableau 2.6 doivent être comparées aux valeurs mesurées au connecteur de l'adaptateur ou de l'antenne du véhicule (corrige des pertes câbles allant du récepteur ou de l'analyseur à l'adaptateur ou à l'antenne du véhicule). Ce sont des mesures de tension (V) dont les limites sont données au tableau 2.6.

| Service | Fréquence (MHz) | Tension perturbatrice à la borne du récepteur (dB μ V) | | | | |
|------------------|-----------------|--|-------|--------------------------|-------|---------------|
| | | Bande large continue | | Bande large courte durée | | Bande étroite |
| Détecteur | | Quasi-crête | Crête | Quasi-crête | Crête | Crête |
| Radiodiffusion | De 0,15 à 0,3 | 9 | 22 | 15 | 28 | 6 |
| | De 0,53 à 2,0 | 6 | 19 | 15 | 28 | 0 |
| | De 5,9 à 6,2 | 6 | 19 | 6 | 19 | 0 |
| | De 76 à 108 | 6 (15*) | 28 | 15 | 28 | 6 |
| Services mobiles | De 30 à 54 | 6 (15*) | 28 | 15 | 28 | 0 |
| | De 68 à 87 | 6 (15*) | 28 | 15 | 28 | 0 |
| | De 142 à 175 | 6 (15*) | 28 | 15 | 28 | 0 |
| | De 380 à 512 | 6 (15*) | 28 | 15 | 28 | 0 |
| | De 820 à 960 | 6 (15*) | 28 | 15 | 28 | 0 |

* Limites pour les systèmes d'allumage seulement.

Tab. 2.6. Limites pied d'antenne.

c. Émissions conduites par les équipements/modules. Méthode en tension

L'objectif de cette méthode d'essais est de mesurer les perturbations conduites en mode commun générées par une entité technique séparée sur ses lignes d'alimentation entre 150 kHz et 108 MHz.

Spécifications de mesure

Ces essais ne nécessitent pas forcément l'utilisation d'une chambre (semi-) anéchoïque, mais doivent être réalisés au minimum dans une cage de Faraday.

Les bornes d'alimentation positive et négative de l'équipement sont respectivement reliées aux RSIL positif et négatif, chacune à l'aide d'un câble de 200 + 200/20 mm. L'équipement et les câbles d'alimentation doivent être surélevés au-dessus du plan de masse de 50 + 50/-0 mm à l'aide d'un support diélectrique tel que décrit au paragraphe C, a., 9. L'objectif de ce montage est de simuler les conditions d'installation sur véhicule.

Toutes les parties de l'équipement soumis à l'essai et les câbles d'alimentation doivent être situés à au moins 20 cm du bord du plan de masse.

L'équipement doit être mis dans un mode de fonctionnement tel que décrit dans le paragraphe C, a., 9.

Les mesures sont réalisées sur la borne de mesure 50 Ω du RSIL ; lorsqu'elle n'est pas utilisée en mesure, cette borne doit être chargée sur une charge de 50 Ω .

Conditions d'essai spécifiques

Les équipements mis à la masse localement lorsqu'ils sont installés sur le véhicule ne doivent pas être reliés à la masse au travers du RSIL négatif, mais reliés directement à la masse au niveau de l'équipement sur le plan de masse. Dans ce cas, la mesure sur le RSIL négatif n'est donc pas réalisée.

Lorsque l'équipement a besoin d'un faisceau (ne comportant pas de fils nécessaires à son alimentation) pour fonctionner, la longueur de ce faisceau ne doit pas excéder 2 m et il ne doit jamais être disposé à moins de 10 cm du bord du plan de masse. De préférence, ce faisceau doit partir de l'équipement soumis à l'essai à angle droit par rapport aux lignes d'alimentation qui font l'objet de la mesure.

Le simulateur auquel est relié ce faisceau doit :

- soit être posé sur le plan de masse ;
- soit avoir son boîtier relié au plan de masse ;
- soit passer au travers d'un connecteur relié au plan de masse de l'essai.

L'alimentation de ce simulateur ne passe pas au travers des RSIL.

Les lignes non chargées par le simulateur peuvent être laissées en circuit ouvert.

Les générateurs ou les alternateurs doivent être chargés par une batterie en parallèle avec une résistance.

Lorsqu'un équipement possède plusieurs lignes d'alimentation, toutes les bornes positives et toutes les bornes négatives doivent être reliées ensemble avant d'être connectées sur chaque RSIL.

Conformité

Pour cette méthode, la conformité d'un équipement à cette norme est établie selon l'une des cinq classes de limites définies. Ces classes sont numérotées de 1 à 5. Lors de la définition du plan d'essai, il est stipulé à quelle classe appartient l'équipement. Pour être conforme, la mesure sur chacun des RSIL utilisée doit être inférieure dans chaque bande de fréquence à la limite de la classe de l'équipement. Les valeurs présentées dans le tableau 2.7 doivent être comparées aux valeurs mesurées au connecteur du RSIL (corrigées des pertes câbles allant du récepteur ou de l'analyseur au RSIL, mais pas de la fonction de transfert du RSIL). Ce sont des mesures de tension (V).

| Classe | Niveaux (en dB μ V) | | | | | | | | | | | |
|--------|-------------------------|-----|----------------|----|---------------|----|-------------|----|------------------------------|----|-----------------------------|----|
| | 0,15 à 0,3 MHz | | 0,53 à 2,0 MHz | | 5,9 à 6,2 MHz | | 30 à 54 MHz | | 68 à 87 MHz services mobiles | | 76 à 108 MHz radiodiffusion | |
| | BE | BL | BE | BL | BE | BL | BE | BL | BE | BL | BE | BL |
| 1 | 90 | 113 | 66 | 95 | 57 | 77 | 52 | 77 | 42 | 61 | 48 | 61 |
| 2 | 80 | 103 | 58 | 87 | 51 | 71 | 46 | 71 | 36 | 55 | 42 | 55 |
| 3 | 70 | 93 | 50 | 79 | 45 | 65 | 40 | 65 | 30 | 49 | 36 | 49 |
| 4 | 60 | 83 | 42 | 71 | 39 | 59 | 34 | 59 | 24 | 43 | 30 | 43 |
| 5 | 50 | 73 | 34 | 63 | 33 | 53 | 28 | 53 | 18 | 37 | 24 | 37 |

Tab. 2.7. Limites crête émissions conduites en courant.

d. Émissions conduites par les équipements/modules. Méthode de la pince de courant

Cette méthode a pour but de mesurer à l'aide d'une pince de courant les perturbations circulant sur les fils de signaux ou de contrôle entre 150 kHz et 108 MHz.

Spécifications de mesure

Ces essais ne nécessitent pas forcément l'utilisation d'une chambre (semi-) anéchoïque, mais doivent être réalisés au minimum dans une cage de Faraday.

En toute logique, les fils d'alimentation de l'équipement doivent être retirés du ou des faisceaux de mesure.

L'équipement soumis à l'essai doit être placé à au moins 20 cm du bord du plan de masse. Il doit être placé à 50 ± 5 mm au-dessus du plan de masse sur un support isolant tel que décrit au paragraphe C, a., 9.

La longueur du faisceau entre l'équipement soumis à l'essai et le(s) RSIL doit être de $1\ 500 \pm 75$ mm typique, mais une longueur de 2 000 mm peut être acceptée. Le faisceau doit être surélevé au-dessus du plan de masse sur un support identique à celui de l'équipement soumis à l'essai.

Le plan de masse utilisé doit faire au moins 2 500 mm de longueur et avoir une hauteur de 900 mm.

Les fils constituant le faisceau d'essai doivent normalement être disposés à plat parallèlement les uns aux autres de manière à former une sorte de nappe.

La pince de mesure est placée à 50 ± 10 mm du connecteur de l'équipement soumis à l'essai sur toute la bande de fréquence.

Entre 30 MHz et 108 MHz, trois distances supplémentaires doivent être mesurées pour garantir la mesure du niveau maximal d'émission et ne pas être pénalisé par les antirésonances du faisceau. Ces distances sont :

- 500 ± 10 mm du connecteur de l'appareil en essais ;
- $1\ 000 \pm 10$ mm du connecteur de l'appareil en essais ;
- 50 ± 10 mm de la borne du RSIL.

Le(s) faisceau(x), l'équipement soumis à l'essai ainsi que tous les éléments du montage d'essai doivent être placés à au moins 10 cm du bord du plan de masse, à l'exception de la face avant de l'équipement, qui doit être placée à au moins 20 cm du bord du plan de masse.

Un soin très important doit être apporté à la caractérisation de la pince de mesure afin de s'assurer qu'elle est suffisamment sensible pour réaliser les mesures (bruit de fond inférieur de 6 dB à la limite retenue) tout en ayant un niveau de saturation garantissant une mesure linéaire sur toute l'étendue d'amplitude de la mesure réalisée.

Conditions d'essai spécifiques

Selon le diamètre du faisceau de signaux/contrôles par rapport au diamètre intérieur de la pince de mesure, le toron de fils de signal/contrôle peut être divisé en sous-faisceaux, chacun étant mesuré séparément.

Par défaut, le boîtier de l'équipement soumis à l'essai ne doit pas être relié au plan de masse à moins qu'une configuration particulière représentative de l'installation sur véhicule soit recherchée. Dans ce cas-là, le raccord à la masse doit être identique à celui présent sur le véhicule.

Lorsque l'équipement est recouvert d'un clapet métallique qui se referme par dessus le connecteur, la pince de mesure sera placée à une position immédiatement adjacente au capot si la distance entre la pince et le connecteur est supérieure à 5 cm.

Conformité

Pour cette méthode, la conformité d'un équipement à cette norme est établie selon l'une des cinq classes de limites définies. Ces classes sont numérotées de 1 à 5. Lors de la définition du plan d'essai, il est stipulé à quelle classe appartient l'équipement. Pour être conforme, la mesure maximale de chaque faisceau pour toutes les positions de la pince de mesure doit être inférieure pour chaque bande de fréquence à la limite de la classe de l'équipement. Les valeurs présentées dans le tableau 2.8 doivent être comparées aux valeurs de courant mesurées à l'aide de la pince de courant (corrigées des pertes câbles allant du récepteur ou de l'analyseur à la pince et des pertes d'insertion de la pince). Ce sont des mesures de courant (A).

| Classe | Niveaux (en dB μ V) | | | | | | | | | | | |
|--------|-------------------------|-----|----------------|----|---------------|----|-------------|----|------------------------------|----|-----------------------------|----|
| | 0,15 à 0,3 MHz | | 0,53 à 2,0 MHz | | 5,9 à 6,2 MHz | | 30 à 54 MHz | | 68 à 87 MHz services mobiles | | 76 à 108 MHz radiodiffusion | |
| | BE | BL | BE | BL | BE | BL | BE | BL | BE | BL | BE | BL |
| 1 | 90 | 113 | 66 | 95 | 57 | 77 | 52 | 77 | 42 | 61 | 48 | 61 |
| 2 | 80 | 103 | 58 | 87 | 51 | 71 | 46 | 71 | 36 | 55 | 42 | 55 |
| 3 | 70 | 93 | 50 | 79 | 45 | 65 | 40 | 65 | 30 | 49 | 36 | 49 |
| 4 | 60 | 83 | 42 | 71 | 39 | 59 | 34 | 59 | 24 | 43 | 30 | 43 |
| 5 | 50 | 73 | 34 | 63 | 33 | 53 | 28 | 53 | 18 | 37 | 24 | 37 |

Tab. 2.8. Limites crête émissions rayonnées en courant.

D **Cellule TEM :**
Enceinte fermée, souvent une ligne coaxiale rectangulaire, dans laquelle une onde se propage en mode électromagnétique transverse afin de produire un champ spécifié pour les essais.
(VEI 50161 04 32)

e. Émissions rayonnées par les équipements/modules. Méthode de la cellule tem

Cette méthode a pour but de mesurer, à l'aide d'une cellule TEM **D**, les perturbations rayonnées par un équipement. Les dimensions de la cellule TEM permettent de déterminer la fréquence maximale de mesure (qui décroît alors que les dimensions de la cellule TEM augmentent), mais aussi la taille maximale de l'équipement qui peut être soumis aux essais à l'intérieur.

La cellule TEM recommandée, dont les dimensions sont décrites dans la norme en annexe F, permet de réaliser les essais entre 150 kHz et 200 MHz pour des équipements dont les dimensions peuvent être incluses dans un volume de 100 × 100 × 100 mm.

L'avantage de cette méthode d'essai est que la cellule se comporte comme une cage de Faraday et son septum comme une antenne, ce qui permet de disposer d'un moyen d'essai de faible coût.

Spécifications de mesure

Les équipements soumis aux essais à l'intérieur de la cellule TEM ne doivent pas être reliés à la masse de la cellule, mais rester flottants au milieu de la demi-hauteur de la cellule.

Un soin particulier doit être apporté au placement de l'équipement afin de pouvoir répéter la mesure en cas de besoin. Le cas échéant, plusieurs orientations de l'équipement (jusqu'à trois positions orthogonales) peuvent être mesurées.

L'équipement soumis à l'essai doit être disposé sur un support diélectrique tel que décrit au paragraphe C, *a.*, 9 égal au sixième de la hauteur de la cellule TEM.

L'alimentation, les charges et le simulateur de l'équipement soumis à l'essai doivent être placés à l'extérieur de la cellule.

La ligne d'alimentation positive doit être filtrée par un RSIL et la ligne négative reliée à la masse de la cellule.

Pour chaque fil de signal, la sortie doit être filtrée à l'aide de filtre passe-bas adapté à la nature du signal y circulant. En l'absence de préconisation, un filtre équivalent au RSIL sera utilisé.

Les fils placés à l'extérieur de la cellule doivent être les plus courts possible, d'impédance caractéristique 50 Ω et les masses de chaque fil correctement reliées à la masse de chaque côté.

La cellule doit être connectée sur une charge de 50 Ω à une extrémité et à l'appareil de mesure de l'autre côté.

Deux types de montages sont possibles :

- soit l'essai a pour but de mesurer les niveaux de perturbations générés par les fils de signaux ;
- soit l'essai a pour but de mesurer les niveaux de perturbations générés par l'équipement lui-même.

Pour les mesures des rayonnements sur les fils, les différents fils de signaux et d'alimentation doivent être reliés au connecteur de la paroi de la cellule à l'aide de pistes parallèles. Il faut, dans ce cas, apporter un soin spécifique à ne pas faire circuler sur chacune des pistes plus de courant qu'elle ne peut en accepter. Les fils permettant de relier l'équipement soumis à l'essai aux pistes doivent être les plus courts possible.

Les pistes non utilisées (soit parce qu'elles ne sont pas reliées à l'équipement soumis à l'essai, soit parce qu'elles sont reliées à l'équipement, mais qu'aucune charge spécifique n'est associée à l'extérieur de la cellule) doivent être en circuit fermé avec la cellule.

Pour les mesures réalisées directement sur l'équipement, les fils nécessaires à l'alimentation et à la simulation de l'équipement soumis à l'essai doivent être les

plus courts possible, si possible blindés et dans tous les cas placés de manière à minimiser leur rayonnement à l'intérieur de la cellule. Dans ce cas, il est possible d'alimenter l'équipement soumis à l'essai à l'aide d'une batterie placée à l'intérieur de la cellule TEM pour peu que celle-ci prenne très peu de place.

Conformité

Pour cette méthode, la conformité d'un équipement à cette norme est établie selon l'une des sept classes de limites définies. Ces classes sont numérotées de 1 à 7. Lors de la définition du plan d'essai, il est stipulé à quelle classe appartient l'équipement. Pour être conforme, la mesure doit être inférieure à la limite de la classe de l'équipement pour chaque bande de fréquence.

Les valeurs présentées dans le 2.9 doivent être comparées aux valeurs mesurées au connecteur de la cellule TEM (corrigé des pertes câbles allant du récepteur ou de l'analyseur à la cellule). Ce sont des mesures de tension (V).

| Classe | Niveaux (en dB μ V) pour les bandes suivantes : de 0,15 à 0,3 MHz, de 0,53 à 2,0 MHz, de 5,9 à 6,2 MHz, de 30 à 54 MHz, de 68 à 87 MHz services mobiles, de 76 à 108 MHz radiodiffusion et de 142 à 175 MHz | | | |
|--------|---|-------------|---|--------------------------------|
| | Toutes bandes larges | | Toutes bandes étroites (crête) | |
| | Crête | Quasi-Crête | Sauf de 76 MHz à 108 MHz radiodiffusion | De 76 à 108 MHz radiodiffusion |
| 1 | 83 | 70 | 60 | 66 |
| 2 | 73 | 60 | 50 | 56 |
| 3 | 63 | 50 | 40 | 46 |
| 4 | 53 | 40 | 30 | 36 |
| 5 | 43 | 30 | 20 | 26 |
| 6 | 33 | 20 | 10 | 16 |
| 7 | 23 | 10 | 0 | 6 |

Tab. 2.9. Limites crête émissions rayonnées en cellule TEM.

f. Émissions rayonnées des composants modules. Mesures en cage de Faraday recouverte d'absorbants

Cette méthode a pour but de mesurer, à l'aide d'antennes, les perturbations rayonnées par un équipement ou son câblage associé. Cet essai peut éventuellement être réalisé en chambre complètement anéchoïque tant que les exigences du point C, a, 1 sont respectées (à l'exception de la distance de 1 m par rapport aux matériaux absorbants disposés sur le sol).

Les mesures sont réalisées entre 150 kHz et 1 GHz.

Spécifications de mesure

L'ensemble soumis à l'essai est constitué de l'entité technique séparée et de son faisceau de longueur comprise entre 1,7 m et 2,0 m. Sur la longueur totale du faisceau reliant l'entité aux RSIL au travers de son banc de simulation, 1,5 m est exposé au champ.

Afin de couvrir toute la bande de fréquence, trois types d'antennes large bande peuvent être utilisés en fonction de la bande de fréquence :

- une antenne fouet utilisée entre 150 kHz et 30 MHz uniquement en polarisation verticale ;
- une antenne biconique utilisée entre 30 MHz et 300 MHz en polarisations verticale et horizontale ;
- une antenne log-périodique utilisée entre 300 MHz et 1 GHz en polarisations verticale et horizontale.

L'antenne est placée face au centre du faisceau exposé afin de recevoir le maximum de rayonnement généré par l'équipement et rayonné soit directement par lui-même, soit par son faisceau.

L'ensemble équipement/faisceau est surélevé de 5 cm au-dessus du plan de masse à l'aide d'un support diélectrique tel que décrit au paragraphe C, a, 9.

Le centre de phase de l'antenne de mesure est placé à 1 m du faisceau et surélevé de 10 cm au-dessus du plan de masse à l'exception de l'antenne fouet pour laquelle le centre de phase est placé au niveau du plan de masse. Pour l'antenne log-périodique, le centre de phase physique évoluant avec la fréquence, il est arbitrairement considéré comme étant à la pointe de l'antenne pour la mesure.

Conditions d'essai spécifiques

Cette méthode est une des méthodes d'essai sur les équipements les plus répandues à l'heure actuelle et ne possède pas de conditions d'essais spécifiques.

Conformité

Pour cette méthode, la conformité d'un équipement à cette norme est établie selon l'une des cinq classes de limites définies. Ces classes sont numérotées de 1 à 5. Lors de la définition du plan d'essais, il est stipulé à quelle classe appartient l'équipement. Pour être conforme, la mesure réalisée pour les deux polarisations doit être inférieure dans chaque bande de fréquence à la limite de la classe de l'équipement. Les valeurs présentées dans le tableau 2.10 doivent être comparées aux valeurs de champ électrique mesurées à l'aide des antennes (corrigées des pertes câbles allant du récepteur ou de l'analyseur à l'antenne et du facteur d'antenne de l'antenne de mesure). Ce sont des mesures de champ électrique (V/m).

| Classe | Niveaux (en dBµV). Limites crête | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----------------------------------|----|----------------|----|---------------|----|-------------|----|------------------------------|----|-----------------------------|----|---------------|----|---------------|----|---------------|----|
| | 0,15 à 0,3 MHz | | 0,53 à 2,0 MHz | | 5,9 à 6,2 MHz | | 30 à 54 MHz | | 68 à 87 MHz services mobiles | | 76 à 108 MHz radiodiffusion | | 142 à 175 MHz | | 380 à 512 MHz | | 820 à 960 MHz | |
| | BE | BL | BE | BL | BE | BL | BE | BL | BE | BL | BE | BL | BE | BL | BE | BL | BE | BL |
| 1 | 61 | 96 | 50 | 83 | 46 | 60 | 46 | 60 | 42 | 49 | 36 | 49 | 36 | 49 | 43 | 56 | 49 | 62 |
| 2 | 51 | 86 | 42 | 75 | 40 | 54 | 40 | 54 | 36 | 43 | 30 | 43 | 30 | 43 | 37 | 50 | 43 | 56 |
| 3 | 41 | 76 | 34 | 67 | 34 | 48 | 34 | 48 | 30 | 37 | 24 | 37 | 24 | 37 | 31 | 44 | 37 | 50 |
| 4 | 31 | 66 | 26 | 59 | 28 | 42 | 28 | 42 | 24 | 31 | 18 | 31 | 18 | 31 | 25 | 38 | 31 | 44 |
| 5 | 21 | 56 | 18 | 51 | 22 | 36 | 22 | 36 | 18 | 25 | 12 | 25 | 12 | 25 | 19 | 32 | 25 | 38 |

Tab. 2.10. Limites crête émissions rayonnées sur table.

B. ISO 7637-2

Cette norme est une exception dans la CEM automobile. En effet, dans ce domaine, l'ISO a normalement en charge la prise en compte des phénomènes d'immunité.

Son objectif est d'évaluer les perturbations transitoires conduites générées par les sous-ensembles électriques/électroniques des véhicules routiers sur leurs lignes d'alimentation lors de leur activation ou de leur désactivation.

Les essais sont uniquement réalisés sur les entités techniques séparées dans des conditions de laboratoire et jamais sur le véhicule complet. Il s'agit ici d'évaluer le pouvoir perturbateur de l'équipement seul.

De plus amples informations au sujet de cette norme sont données au paragraphe B, b.

a. Généralités

Cette méthode d'essai requiert l'utilisation d'un RSIL qui, depuis la seconde édition de la norme, est identique à ceux décrits dans la publication CISPR 25 (paragraphe C, b. et d'un plan de masse.

L'appareil à utiliser pour réaliser cette mesure est un oscilloscope capable de mesurer l'amplitude du signal (jusqu'à plusieurs centaines de volts crête) ayant une bande passante minimale de 400 MHz, une fréquence minimum d'échantillonnage de 2×10^9 échantillons et une sensibilité d'entrée d'au moins 5 mV/division.

La sonde de mesure doit accepter une tension d'entrée de 1 kV, avoir un rapport d'atténuation de 100/1, une longueur maximale de câble de la sonde de 3 m et de 13 cm pour le câble de masse de la sonde. De plus, elle doit posséder les paramètres du tableau 2.11.

| F (MHz) | Z (kΩ) | C (pF) |
|---------|--------|--------|
| 1 | > 40 | < 4 |
| 10 | > 4 | < 4 |
| 100 | > 0,4 | < 4 |

Tab. 2.11. Paramètres de la sonde de tension.

L'utilisation d'un interrupteur « S » est nécessaire afin de réaliser les commutations marche arrêt de l'équipement. Cet interrupteur doit être parfaitement caractérisé. Il est toléré qu'un interrupteur identique à celui qui sera ensuite installé sur le véhicule pour activer/désactiver l'équipement soit utilisé tel qu'un relais automobile, mais ce relais doit posséder les caractéristiques suivantes :

- pouvoir de coupure $I = 30$ A, charge continue, résistive ;
- contacts en argent très grande pureté ;
- pas de suppression sur le contact du relais ;

- contact à une seule ou à deux positions électriquement isolées du circuit de la bobine ;
- bobine avec élimination des transitoires.

Cependant, une mesure correcte n'est possible que si un interrupteur possède des caractéristiques parfaitement définies et maîtrisées. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- tension maximale : 400 V à 25 A ;
- courant maximal : 25 A en continu, 100 A en crête (pendant moins de 1 s) ;
- chute de tension inférieure à 1 V à 25 A ;
- les deux tensions d'essais de la norme doivent accepter 12 V ou 13,5 V et 24 V ou 27 V ;
- temps de commutation : 300 ns \pm 20 % ;
- $R = 0,6 \Omega$;
- $L = 50 \mu\text{H}$ à 1 kHz ;
- résistances parallèles commutables de 10, 20 et 40 Ω (avec composante réactive minimale) avec connecteurs externes si nécessaire ;
- déclencheurs externe et interne.

b. Spécifications de mesure

Les longueurs de câblage entre l'alimentation et le RSIL et entre le RSIL et l'équipement soumis à l'essai doivent être maîtrisées et égales à 200 ± 5 mm. Le câblage et l'objet soumis à l'essai doivent être surélevés au-dessus du plan de masse de $50 + 10/- 0$ mm à l'aide d'un support diélectrique tel que défini dans le paragraphe C, a., 9.

Une résistance R_S (de composante réactive la plus faible possible) doit être placée en parallèle de l'alimentation entre l'alimentation et le RSIL, côté RSIL. Par défaut cette résistance doit être de 40 Ω .

Les mesures sont réalisées de telle sorte que la sonde soit placée le plus près possible des bornes de l'équipement soumis à l'essai. Au total quatre types de mesures doivent être réalisés :

- interrupteur avant le RSIL à la mise sous tension de l'équipement pour les impulsions rapides ;
- interrupteur avant le RSIL à la mise hors tension de l'équipement pour les impulsions rapides ;
- interrupteur après le RSIL à la mise sous tension de l'équipement pour les impulsions lentes ;
- interrupteur après le RSIL à la mise hors tension de l'équipement pour les impulsions lentes.

c. Conditions d'essai spécifiques

Lorsque l'impédance ramenée par les équipements installés sur le véhicule sur l'alimentation de l'équipement soumis à l'essai est connue, cette valeur doit être substituée aux 40Ω de la résistance R_S .

d. Conformité

Selon le type de résultat obtenu, la perturbation peut être classée en deux familles :

- soit il s'agit d'un transitoire simple ;
- soit il s'agit d'un transitoire en salve.

Il est utile de caractériser cette perturbation transitoire selon les caractéristiques définies dans l'annexe C de la norme, mais le paramètre le plus important retenu est l'amplitude maximale mesurée du signal en volts. Pour être jugée conforme, cette amplitude maximale est ensuite comparée au tableau 2.12 de limite en fonction de la classe retenue pour l'équipement (de I à IV) et de sa tension d'alimentation nominale.

| Amplitude relative de l'impulsion U_s (V) | Classe IV | Classe III | Classe II | Classe I |
|---|-----------|------------|-----------|----------|
| Positive | + 100 | + 75 | + 50 | + 25 |
| Négative | - 150 | - 100 | - 50 | - 25 |

Tab. 2.12. Limites en tension pour les équipements 12 V.

3. Les normes d'immunité

Les normes CEM automobiles d'immunité sont beaucoup plus nombreuses que les normes d'émission. Elles ont pour but de proposer des méthodes d'essai et des niveaux d'immunité afin de vérifier la robustesse aux perturbations électromagnétiques des véhicules et des équipements électriques/électroniques qui les composent.

D Niveau d'immunité, niveau d'émission.

Le groupe ISO traitant de ces normes entend, par véhicule routier, les cyclomoteurs, les motocycles, les automobiles, les remorques, les semi-remorques, les remorques légères, les ensembles de véhicules et les remorques articulées telles que définies à l'article 1 de la Convention sur la sécurité routière de Vienne en 1968 conclue sous l'égide des Nations unies.

A. Généralités

a. Classifications

Les normes peuvent être classées en deux familles selon la nature de la perturbation :

- les parasites de type bande large qui ont une existence finie dans le domaine temporel ;
- les parasites de type bande étroite dont le signal est récurrent dans le temps pour une fréquence donnée.

La première famille est divisée en deux séries de normes :

- la série des ISO 7637^W, qui porte sur les parasites bande large conduits se propageant sur les lignes d'alimentation et se couplant sur les lignes de signaux, propose des méthodes d'essais sur les équipements uniquement ;
- la norme ISO 10605^W, qui porte sur les décharges électrostatiques (DES), propose des méthodes d'essais sur les équipements et sur les véhicules complets.

La seconde famille est également divisée en deux séries de normes :

- la série des ISO 11451^W dont l'objet est le couplage de l'énergie électromagnétique bande étroite sur le véhicule complet ;
- la série des ISO 11452^W dont l'objet est le couplage de l'énergie électromagnétique bande étroite sur les entités techniques séparées.

b. Critères de bon fonctionnement

Il importe, lors des essais d'immunité, de vérifier les critères de bon fonctionnement des équipements, qu'ils soient soumis à l'essai en tant qu'entité technique séparée ou qu'ils soient soumis à l'essai lorsqu'ils sont installés à bord d'un véhicule. Ces critères de bon fonctionnement doivent être définis

pour chacune des fonctions que l'équipement soumis à l'essai doit assurer. Ces catégories de fonctionnement sont aujourd'hui ordonnées selon cinq classes :

- **classe A** : Toutes les fonctions d'un dispositif ou d'un équipement sont assurées normalement pendant et après l'exposition à une perturbation ;
- **classe B** : Toutes les fonctions d'un dispositif ou d'un équipement sont assurées normalement pendant l'exposition à la perturbation ; cependant, une ou plusieurs d'entre elles peuvent sortir des tolérances spécifiées. Toutes les fonctions reviennent automatiquement dans les limites normales après suppression de la perturbation. Les fonctions de mémoire doivent rester conformes à la classe A ;
- **classe C** : Une ou plusieurs fonctions d'un dispositif ou d'un équipement ne sont pas assurées normalement pendant l'exposition à la perturbation mais reviennent automatiquement à la normale après suppression de la perturbation ;
- **classe D** : Une ou plusieurs fonctions d'un dispositif ou d'un équipement ne sont pas assurées normalement pendant l'exposition à la perturbation et ne reviennent pas à la normale après suppression de la perturbation jusqu'à ce que le dispositif ou l'équipement soit réinitialisé par une manœuvre simple de l'utilisateur ;
- **classe E** : Une ou plusieurs fonctions d'un dispositif ou d'un équipement ne sont pas assurées normalement pendant et après l'exposition à la perturbation et ne peuvent pas être ramenées à un fonctionnement correct sans réparer ou remplacer le dispositif ou l'équipement.

L'essai d'immunité consiste donc à réaliser l'essai pour chacune des fonctions de l'équipement ou du véhicule soumis à l'essai et à s'assurer de la classe de fonctionnement correspondante de l'équipement pour un niveau de perturbation donné.

c. Niveaux d'immunité

Les normes d'immunité véhicule n'imposent pas de niveau d'immunité. Elles proposent cinq ou six niveaux possibles dont le dernier est à l'entière discrétion de l'utilisateur de la norme. Cependant, les niveaux proposés sont représentatifs des phénomènes auxquels les véhicules et leurs équipements sont confrontés. Les niveaux les plus bas proposés par les normes sont généralement représentatifs des valeurs réglementaires auxquelles le monde de l'automobile doit répondre ou représentatifs des valeurs permettant d'assurer aux constructeurs un niveau de qualité suffisant pour les équipements dits de confort. Les niveaux les plus élevés sont souvent ceux utilisés pour valider toutes les fonctions de types sécuritaires, c'est-à-dire celles qui touchent à la dirigeabilité et à la maniabilité du véhicule et qui pourraient mettre en danger les occupants du véhicule ou les autres usagers de la route. Dans la suite de ce document, seuls les quatre ou cinq niveaux suggérés seront rappelés, numérotés en chiffre romain de I à V.

B. Série ISO 7637^W

Cette série de normes est la plus ancienne des normes CEM automobile. Les premières éditions qui remontent à 1990 ont été remplacées aujourd'hui à l'exception de la partie 3. Elle est actuellement composée de trois normes :

- Véhicules routiers : Perturbations électriques par conduction et par couplage. Partie 1 : Définitions et généralités.
- Véhicules routiers : Perturbations électriques par conduction et par couplage. Partie 2 : Transmission des perturbations électriques transitoires par conduction uniquement le long des lignes d'alimentation.
- Véhicules routiers : Perturbations électriques par conduction et par couplage. Partie 3 : Transmission des perturbations électriques transitoires par couplage capacitif ou inductif le long des lignes autres qu'alimentation.

a. ISO 7637-1

Cette seconde édition a remplacé la première édition de 1990 qui était précédemment numérotée en partie 0. Elle traite des définitions des termes communs utilisées dans les autres normes de la série et fixe les limites de la série.

L'objet de cette série de normes est de proposer différentes méthodes d'essai permettant d'estimer l'immunité des équipements par rapport aux perturbations transitoires qui se propagent sur le réseau de bord du véhicule par conduction et par couplage. Il s'agit d'immunité dans le domaine temporel.

b. ISO 7637-2

Cette seconde édition a remplacé les premières éditions de 1990 des parties 1 et 2 de cette série de normes. Elle regroupe ainsi en un seul document les méthodes d'essai pour les systèmes alimentés en 12 V et en 24 V.

L'objet de cette norme est de transmettre par conduction aux équipements des perturbations transitoires sur leurs lignes d'alimentation 12 V ou 24 V.

Les essais décrits dans cette norme doivent être réalisés à une température comprise entre 18 °C et 28 °C.

Les tensions d'alimentation des équipements lors des essais doivent être tels que définis dans le tableau 3.1.

| Tension | Tension nominale 12 V | Tension nominale 24 V |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Alimentation (U_A) | 13,5 ± 0,5 V | 27,0 ± 1,0 V |
| Batterie (U_B) | 12,0 ± 0,2 V | 24,0 ± 0,4 V |

Tab. 3.1. Tensions d'alimentation.

Cette norme présente une originalité puisqu'il s'agit de la seule norme CEM d'immunité qui propose une méthode d'essai en émission décrite au

chapitre 2, D. Les définitions concernant le plan de masse, l'oscilloscope et la sonde de mesure décrite à ce paragraphe sont valables pour les essais d'immunité. Les formes d'onde à générer sont caractérisées en niveau de tension (V) et en temps (s, ms et μ s).

Conditions et méthode d'essai

Cet essai est réalisé au moyen d'un générateur d'impulsions transitoires. Le dispositif soumis à l'essai est surélevé à l'aide d'un support diélectrique, tel que décrit dans le chapitre 2, C, *a.*, 8, de $50 + 10/- 0$ mm de hauteur au-dessus d'un plan de masse. La longueur des fils d'alimentation entre le générateur et l'équipement soumis à l'essai est de 0,5 m. Ce câble doit être à la même hauteur au-dessus du plan de masse que l'objet soumis à l'essai.

L'essai est réalisé en deux phases. Lors d'une première phase de calibrage, les paramètres de l'impulsion sont vérifiés selon les critères définis dans l'annexe D de la norme sur une charge caractéristique. Le générateur est ensuite relié à l'équipement soumis à l'essai et l'impulsion lui est ensuite délivrée. Lors du passage de la perturbation, les critères de bon fonctionnement de l'équipement sont vérifiés.

La répétition de l'impulsion (jusqu'à 5 000 fois pour certaines d'entre elles ou pendant 1 h pour d'autres) a pour but de vérifier qu'aucun phénomène « aléatoire » n'apparaît par exemple dans un programme en fonction des différents cycles d'horloge du fonctionnement de l'équipement soumis à l'essai.

Impulsions d'essai

Huit impulsions sont décrites dans cette norme.

L'impulsion 1 est une impulsion lente. Elle a pour but de reproduire des perturbations transitoires provoquées par la déconnexion de charges inductives. Cette impulsion ne s'applique que pour les équipements qui sont branchés sur le véhicule en direct avec des charges inductives. Elle ne s'applique pas, par exemple, aux équipements qui ne seraient reliés qu'à la borne positive de la batterie.

L'impulsion 2*a* est également une impulsion lente. Elle permet de simuler les perturbations transitoires qui peuvent apparaître, après coupure du circuit d'allumage, lorsque des moteurs à courant continu tournent encore en raison de leur inertie. Tout comme l'impulsion 1, elle ne s'applique pas par exemple pour les équipements qui ne seraient branchés que sur la borne positive de la batterie. Une erreur sur les caractéristiques de cette impulsion lors de l'édition de juin 2004 a conduit à la publication d'un corrigendum en septembre 2004.

L'impulsion 2*b* n'était pas présente lors de la précédente édition de cette norme. C'est une impulsion lente qui simule les transitoires provoqués par des moteurs à courant continu fonctionnant comme des générateurs après coupure du circuit d'allumage. Elle ne s'applique pas, elle non plus, par exemple, pour les équipements qui ne seraient branchés que sur la borne positive de la batterie.

Les impulsions 3*a* et 3*b* permettent de simuler des transitoires provoqués par des commutations. Ce sont des impulsions dites rapides par opposition aux impulsions 1 et 2.

L'impulsion 4 ou impulsion démarrage a pour but de reproduire la chute de tension d'alimentation provoquée par la mise en service du circuit de démarrage d'un moteur à allumage commandé ou d'un moteur Diesel. Cette impulsion tient plus du comportement électrique que CEM de l'équipement. Il en existe une version alternative dans la norme ISO 16750-2. Lors des prochaines éditions de ces normes, l'impulsion 4 sera supprimée de l'ISO 7637-2 ^W et uniquement publiée dans l'ISO 16750-2 ^W.

Les impulsions 5a et 5b, également appelées « *load dump* », ont pour but de simuler une perturbation transitoire due à la rupture de charge qui se produit lors du débranchement d'une batterie déchargée alors que l'alternateur continue de débiter et que les autres équipements du bord continuent d'être alimentés. Cette situation peut se produire lors d'une déconnexion volontaire de la batterie (moteur en fonctionnement) ou involontairement suite à la présence d'un câble corrodé ou d'un mauvais contact. L'impulsion 5a représente la surtension engendrée en l'absence de protection généralisée, et l'impulsion 5b est celle engendrée lorsqu'un dispositif de protection centralisé est présent. Ces impulsions tiennent plus du comportement électrique que CEM de l'équipement ; c'est pourquoi, lors de la prochaine édition de l'ISO 7637-2, l'impulsion 5 sera supprimée de cette norme pour être uniquement publiée dans l'ISO 16750-2 ^W.

Niveaux d'immunité

Lors de la précédente édition de la norme, quatre niveaux d'immunité étaient proposés. Au cours du temps et avec l'expérience, il s'est avéré que les niveaux 1 et 2 ne permettaient pas d'assurer l'immunité minimale nécessaire sur véhicule. Pour cette raison, lors de l'édition de 2004, seuls deux niveaux ont été conservés (tab. 3.2).

| Impulsion d'essai | Niveau d'essai Us (V) | | | | Nombre minimal d'impulsion ou durée minimale de l'essai | Durée du cycle de la perturbation/fréquence de répétition de l'impulsion | |
|-------------------|--|--------|-------------|--------|---|--|---------|
| | Réseau 12 V | | Réseau 24 V | | | minimum | maximum |
| | III min | IV max | III min | IV max | | | |
| 1 | - 75 | - 100 | - 450 | - 600 | 5 000 impulsions | 0,5 s | 5 s |
| 2a | + 37 | + 50 | + 37 | + 50 | 5 000 impulsions | 0,2 s | 5 s |
| 2b | + 10 | + 10 | + 20 | + 20 | 10 impulsions | 0,5 s | 5 s |
| 3a | - 112 | - 150 | - 150 | - 200 | 1 h | 90 ms | 100 ms |
| 3b | + 75 | + 100 | + 150 | + 200 | 1 h | 90 ms | 100 ms |
| 4 | - 6 | - 7 | - 12 | - 16 | 1 impulsion | Sans objet | |
| 5a | + 65 | + 87 | + 123 | + 173 | 1 impulsion | Sans objet | |
| 5b | Selon l'alternateur installé sur le véhicule (formule de calcul dans la norme) | | | | | | |

Tab. 3.2. Niveaux suggérés pour les équipements 12 v et 24 V.

c. ISO 7637-3 ^W

La première et unique édition de cette norme est celle de 1995. Elle regroupe également en un seul document les méthodes d'essai pour les systèmes alimentés en 12 V et en 24 V.

L'objet de cette norme est de transmettre, par couplage principalement capacitif, des perturbations transitoires aux équipements *via* leurs lignes autres que leurs lignes d'alimentation 12 V ou 24 V, c'est-à-dire leurs lignes de signaux ou de contrôle.

Les essais décrits dans cette norme doivent être réalisés à une température incluse entre 18 °C et 28 °C.

Conditions et méthode d'essai

Cet essai est réalisé au moyen d'un générateur d'impulsions transitoires identique à celui utilisé et décrit dans l'ISO 7637-2. L'équipement soumis à l'essai est surélevé à l'aide d'un support diélectrique, tel que décrit dans le chapitre 2, C, a., 8, de hauteur $50 + 50 / - 0$ mm au-dessus d'un plan de masse. La longueur de câblage incluant les fils d'alimentation et les fils de signaux/contrôles entre l'alimentation/le banc de simulation et l'équipement soumis à l'essai est de 2,0 m. Ce câble doit être disposé en U. Les parties verticales du faisceau en U doivent être de longueur comprise entre 0,4 m et 0,45 m et surélevées au-dessus du plan de masse à l'aide d'un support diélectrique tel que décrit dans le chapitre 2, C, a., 8, de hauteur 100 ± 20 mm. La partie horizontale du faisceau en U est scindée en deux parties. Les lignes d'alimentation sont plaquées sur le plan de masse le long de la pince, alors que les lignes autres que d'alimentation doivent être disposées au centre de la pince de couplage capacitive selon son axe longitudinal sur une longueur de 1 m. Cette pince doit être posée sur le plan de masse et la continuité électrique entre la pince et le plan de masse doit être assurée.

Le côté « alimentation » de la pince doit être chargé sur 50Ω à l'aide d'un atténuateur 50Ω protégeant l'entrée de l'oscilloscope connecté dans le prolongement. Le générateur d'impulsion est relié à la pince côté équipement soumis à l'essai.

Les caractéristiques techniques de cette pince sont les suivantes :

- valeur typique du couplage entre la pince et le faisceau : 100 pF (200 pF maximum) ;
- diamètre de faisceau admissible : 4 à 40 mm ;
- tension maximale admissible supérieure à 200 V ;
- impédance à vide : 50Ω .

L'essai est réalisé en deux phases. Lors d'une première phase de calibrage, les paramètres de l'impulsion sont vérifiés selon les critères définis dans l'annexe D de l'ISO 7637-2^W par une mesure en bout de pince alors que l'impulsion la traverse et qu'elle n'est pas chargée par le faisceau de l'équipement soumis à l'essai. Le faisceau est alors placé à l'intérieur de la pince et l'impulsion est ensuite générée. Lors du passage de la perturbation, les critères de bon fonctionnement de l'équipement sont vérifiés.

Tout comme pour l'ISO 7637-2^W, le but de cette norme est de vérifier qu'aucun phénomène « aléatoire » n'apparaît par exemple dans un programme en fonction des différents cycles d'horloge du fonctionnement de l'équipement soumis

à l'essai lorsque des faisceaux de signal sont placés à proximité de signaux d'alimentation à l'intérieur du véhicule ou tout simplement que les composants de l'équipement soumis à l'essai sont suffisamment robustes pour accepter les perturbations sans entraîner de dysfonctionnement de cet équipement.

Impulsions d'essai

Deux impulsions sont décrites dans cette norme. Elles sont identiques aux impulsions 3a et 3b de l'ISO 7637-2^W, si ce n'est qu'elles sont générées sur une tension de 0 V et non 12 V ou 24 V. Pour éviter toute confusion, elles sont renommées respectivement impulsions a et b. Chacune d'elle n'est appliquée que pendant une durée de 10 min.

Niveaux d'immunité

Quatre niveaux d'immunité sont proposés dans cette norme (tab. 3.3).

| Tension d'alimentation (en V) | Impulsion | Durée (en min) | Durée du cycle (en ms) | | Niveaux d'essai (en V) | | | |
|-------------------------------|-----------|----------------|------------------------|-----|------------------------|------|------|------|
| | | | Min | Max | I | II | III | IV |
| 12 | a | 10 | 90 | 110 | - 10 | - 20 | - 40 | - 60 |
| 12 | b | 10 | 90 | 110 | + 10 | + 20 | + 40 | + 60 |
| 24 | a | 10 | 90 | 110 | - 14 | - 28 | - 56 | - 80 |
| 24 | b | 10 | 90 | 110 | + 14 | + 28 | + 56 | + 80 |

Tab. 3.3. Niveaux suggérés pour les équipements 12 V et 24 V.

C. Norme ISO 10605^W

Cette norme traitant de l'application des décharges électrostatiques (DES) sur les véhicules et leurs équipements est longtemps restée au stade de document technique. Les travaux de l'automobile dans ce domaine étaient à l'époque assez proches de ceux de la CEI et il n'était pas alors opportun de proposer de norme alternative, mais des recommandations d'essais propres à l'automobile. Avec le temps et l'expérience acquise dans ce domaine au fil des ans, les experts CEM automobiles internationaux ont jugé utile de publier leur propre norme dans le domaine, ce qui a été fait en 2001. La norme se nomme : « Véhicules routiers : Méthodes d'essai des perturbations électriques provenant de décharges électrostatiques ».

Cette norme propose à la fois une méthode d'essai véhicule et deux méthodes d'essai équipement.

Le phénomène de décharge électrostatique est très sensible aux conditions météorologiques. Afin de maximiser la répétabilité entre deux essais, il convient de relever, en plus de la température qui doit être comprise entre 18 °C et 28 °C, l'humidité relative, dont le pourcentage doit être maintenu entre 30 % et 60 % pendant la durée des essais.

a. Générateur de DES

Il est commun aux deux parties de la norme. Les méthodes de vérification de la forme d'onde au contact et dans l'air sont identiques et les mêmes que dans la CEI 61000-4-2, seules les fréquences et les valeurs changent.

Deux types de sondes ou cascades sont utilisés :

- le premier représente une décharge qui serait provoquée par un homme lorsqu'il est au sol et qu'il touche une partie du véhicule. Elle est modélisée par une résistance de 2 k Ω en parallèle sur une capacité de 150 pF ;
- le second correspond à un homme qui serait dans le véhicule et qui en touche les parties internes accessibles. Elle est modélisée par une résistance de 2 k Ω en parallèle sur une capacité de 330 pF.

Tout comme dans la CEI 61000-4-2^W, selon le type de décharge à réaliser (au contact ou dans l'air), la forme de la pointe du générateur est définie dans la norme (pointue pour les décharges au contact et arrondie pour les décharges dans l'air).

Les paramètres de la forme d'onde doivent être contrôlés comme suit :

- la valeur crête à ± 2 kV, ± 4 kV, ± 6 kV, ± 8 kV, ± 15 kV et ± 25 kV doit être contrôlée au besoin à l'aide d'un électromètre, par des vérifications au contact régulières. Si la méthode de vérification de la valeur du premier courant crête est celle avec le montage complet, les tolérances sur ce courant sont plus élevées que pour les mêmes cascades de la CEI 61000-4-2 ($- 0 / + 30$ % au lieu de ± 10 %) ;
- le temps de montée au contact doit être vérifié régulièrement pour les niveaux de tension suivants : ± 2 kV, ± 4 kV, ± 6 kV et ± 8 kV ;
- la constante de relaxation RC doit être également vérifiée régulièrement, uniquement pour ± 15 kV pour des décharges dans l'air ;
- les contrôles réguliers ne doivent pas être espacés de plus de douze mois ; cependant pour une utilisation intensive, il est conseillé que ces vérifications soient plus fréquentes.

b. Essais sur véhicule

La surface à couvrir étant vaste, il convient de définir au préalable, dans un plan d'essai, les points d'impact sur lesquels les essais doivent être réalisés. Ces points d'impact doivent inclure au minimum tous les interrupteurs et commandes électroniques auxquelles un occupant peut avoir accès à l'intérieur d'un véhicule, mais aussi tous les boutons leviers ou manettes accessibles en fonctionnement normal.

Les conditions de fonctionnement des différents organes du véhicule doivent également être précisées telles que régime moteur, vitesse du véhicule ou autres modes de fonctionnement spécifiques d'un équipement.

Le câble de masse du générateur doit être raccordé à la carrosserie du véhicule en prenant soin d'utiliser un point où le métal est le plus à nu possible.

Les niveaux de décharge sont à réaliser dans l'air uniquement, par ordre croissant avec un minimum de trois impacts par polarité et par niveau espacés d'au moins 5 s entre deux décharges successives. La vitesse d'approche du générateur doit être très lente (≤ 5 mm/s).

Les décharges suivantes :

- ± 2 kV, ± 4 kV, ± 8 kV, ± 14 kV et ± 15 kV sont à appliquer de l'intérieur du véhicule vers l'intérieur du véhicule avec la cascade $2 \text{ k}\Omega // 330 \text{ pF}$;
- ± 2 kV, ± 4 kV, ± 8 kV, ± 15 kV et ± 25 kV sont à appliquer de l'extérieur du véhicule vers l'intérieur du véhicule avec la cascade $2 \text{ k}\Omega // 150 \text{ pF}$, uniquement pour les points accessibles depuis l'extérieur.

Le niveau à ± 2 kV doit toujours être réalisé, les niveaux suivants correspondent respectivement aux classes I à IV des niveaux d'essai à tenir en fonction de la nature de l'équipement. Pour obtenir une conformité au niveau le plus élevé, les niveaux inférieurs doivent avoir été réalisés au préalable.

Un contrôle de bon fonctionnement des différents organes soumis à l'essai doit être réalisé à chaque changement de niveau et de polarité afin de connaître le niveau à partir duquel l'équipement commencerait éventuellement à dysfonctionner.

c. Essai sur équipement sous tension

Cet essai a pour but de valider un équipement avant de l'installer à bord d'un véhicule.

L'équipement doit être installé sur un plan de masse directement relié à la terre. En fonction de la façon dont l'équipement sera installé ensuite sur véhicule, il est :

- soit relié au plan de masse s'il en est de même lorsqu'il est installé sur un véhicule ;
- soit surélevé de $25 \pm 2,5$ mm à l'aide d'un support isolant non hygroscopique, au-dessus du plan de masse s'il n'est pas destiné à être directement fixé sur la carcarasse du véhicule.

Une fois les points d'impact définis et les différents modes de fonctionnement de l'équipement soumis à l'essai définis, il faut raccorder la masse du simulateur à celle de l'alimentation de l'équipement. La masse de l'alimentation de l'équipement doit également être raccordée au plan de masse de l'essai. Les points d'impact doivent inclure, au minimum, chaque axe, bouton, interrupteur et surface visible de l'équipement soumis à l'essai.

Les niveaux de décharge sont à réaliser au contact et dans l'air, par ordre croissant avec un minimum de trois impacts par polarité et par niveau espacés d'au moins 5 s entre deux décharges successives. Pour les décharges dans l'air, la vitesse d'approche du générateur doit être très lente (≤ 5 mm/s) en partant de 15 mm de distance.

Les décharges suivantes :

- ± 2 kV, ± 4 kV, ± 6 kV, ± 7 kV et ± 8 kV sont à appliquer pour les décharges au contact avec les cascades $2 \text{ k}\Omega // 330 \text{ pF}$ et $2 \text{ k}\Omega // 150 \text{ pF}$;

- ± 2 kV, ± 4 kV, ± 8 kV, ± 14 kV et ± 15 kV sont à appliquer pour les décharges dans l'air avec les cascades $2\text{ k}\Omega // 330\text{ pF}$ et $2\text{ k}\Omega // 150\text{ pF}$.

Le niveau à ± 2 kV doit toujours être réalisé, les niveaux suivants correspondent respectivement aux classes I à IV des niveaux d'essais à tenir en fonction de la nature de l'équipement. Pour obtenir une conformité au niveau le plus élevé, les niveaux inférieurs doivent avoir été réalisés au préalable.

Un contrôle de bon fonctionnement des différents organes soumis à l'essai doit être réalisé à chaque changement de niveau et de polarité afin de connaître le niveau à partir duquel l'équipement commencerait éventuellement à dysfonctionner.

d. Essai sur équipement hors tension (manutention)

Cet essai a pour but de valider que l'équipement ne risque pas d'être endommagé par des décharges électrostatiques lorsqu'il est manipulé en tant qu'entité technique séparée.

L'équipement doit être disposé directement sur un plan de masse lui-même relié à la terre.

Une fois les points d'impact définis, il faut raccorder la masse du simulateur à celle du plan de masse de l'essai. Ces points doivent inclure, au minimum, chaque broche des connecteurs, le connecteur lui-même, le boîtier de l'équipement et de ses périphériques, les interrupteurs, afficheurs, et toute vis apparente. Un point peut éventuellement être défini comme inaccessible s'il n'est pas possible de l'atteindre avec la pointe du générateur.

Les niveaux de décharge sont à réaliser au contact et dans l'air, par ordre croissant avec un minimum de trois impacts par polarité et par niveau espacés d'au moins 5 s entre deux décharges successives. Pour les décharges dans l'air, la vitesse d'approche du générateur doit être très lente (≤ 5 mm/s) en partant de 15 mm de distance. De plus, si aucune décharge ne se produit, même une fois qu'il y a contact entre le générateur et le dispositif soumis à l'essai, on continue l'essai en passant au point d'impact suivant.

Les décharges suivantes :

- ± 2 kV, ± 4 kV, ± 6 kV et ± 8 kV sont à appliquer pour les décharges au contact avec la cascade $2\text{ k}\Omega // 150\text{ pF}$ uniquement ;
- ± 2 kV, ± 8 kV, ± 15 kV et ± 25 kV sont à appliquer pour les décharges dans l'air avec la cascade $2\text{ k}\Omega // 150\text{ pF}$ uniquement.

Le niveau à ± 2 kV doit toujours être réalisé, les niveaux suivants correspondent respectivement aux classes I à III des niveaux d'essais à tenir en fonction de la nature de l'équipement. Pour obtenir une conformité au niveau le plus élevé, les niveaux inférieurs doivent avoir réussi l'essai. Il n'y a pas de niveau IV normalisé pour cet essai.

Après chaque décharge (qu'elle soit au contact ou dans l'air), il est nécessaire de dissiper l'énergie résiduelle contenue dans l'équipement soumis à l'essai en connectant brièvement une résistance de $1\text{ M}\Omega$ entre le point de décharge et la terre, puis entre le point de masse du dispositif soumis à l'essai et la terre.

Un contrôle de bon fonctionnement doit être réalisé à chaque changement de niveau et de polarité.

D. Série ISO 11451^W

Cette série de normes prend en compte les phénomènes de perturbations bande étroite principalement générés par les équipements radiofréquence qui ont pour vocation à utiliser les ondes électromagnétiques comme moyen de propagation tels les émetteurs de radiotélévision ou de radiotéléphonie. Ce sont les équivalents véhicule des normes ISO 11452^W dont le but est la validation des équipements. Les premières éditions remontent à 1994 et ont toutes été remplacées aujourd'hui à l'exception de la partie 3. Elle est actuellement composée de quatre normes :

- Véhicules routiers : Méthodes d'essai d'un véhicule soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite. Partie 1 : Principes généraux et terminologie ;
- Véhicules routiers : Méthodes d'essai d'un véhicule soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite. Partie 2 : Sources de rayonnement hors véhicule ;
- Véhicules routiers : Méthodes d'essai d'un véhicule soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite. Partie 3 : Rayonnement par émetteur embarqué ;
- Véhicules routiers : Méthodes d'essai d'un véhicule soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite. Partie 4 : Méthode d'injection de courant (BCI).

a. ISO 11451-1

Cette troisième édition a pour objet de traiter des définitions et des termes communs utilisés dans les autres normes de la série et fixe les limites de la série.

Cette série de normes se situe dans le domaine fréquentiel. Elle précise les grandeurs utilisées et les tolérances à y appliquer au cours de la série de normes ISO 11451. Elle précise également les paramètres influents à relever pour l'établissement du rapport d'essai. En particulier, elle précise que, pour l'ensemble des méthodes d'essai de cette série, les essais doivent être réalisés entre 18 °C et 28 °C.

Elle précise qu'au cours des essais, les tensions d'alimentation ne doivent pas chuter en dessous de 12 V pour les véhicules 12 V et 24 V pour les véhicules 24 V.

De plus, elle présente les trois modulations classiques utilisées pour ces méthodes d'essai :

- la modulation CW ou onde entretenue qui est en fait l'absence de modulation et la présence uniquement du signal de porteuse. Elle est utilisée sur toute la bande de fréquence ;

- la modulation AM ou modulation d'amplitude dont l'indice de modulation est de 80 % ; la fréquence de modulation est 1 kHz et possède la particularité de conserver de la valeur crête. Ceci veut dire que le niveau crête AM est égal au niveau crête CW (et non pas 1,8 fois le niveau CW comme ce devrait être le cas). Elle est utilisée pour les fréquences inférieures à 800 MHz ;
- la modulation PM ou modulation d'impulsion a pour objectif de simuler les modulations numériques actuellement largement utilisées. Elle a une durée de transmission de 577 μ s et une période de répétition de 4 600 μ s. Elle est utilisée pour les fréquences supérieures à 800 MHz.

Elle propose un tableau pour le pas fréquentiel avec deux options, le pas linéaire ou le pas logarithmique, en précisant les valeurs les plus lâches à appliquer (tab. 3.4).

| Bande de fréquence (MHz) | Pas linéaire (MHz) | Pas logarithmique (%) |
|------------------------------|--------------------|-----------------------|
| De \geq 0,01 à \leq 0,1 | 0,01 | 10 |
| De $>$ 0,1 à \leq 1 | 0,1 | 10 |
| De $>$ 1 à \leq 10 | 1 | 10 |
| De $>$ 10 à \leq 200 | 5 | 5 |
| De $>$ 200 à \leq 400 | 10 | 5 |
| De $>$ 400 à \leq 1 000 | 20 | 2 |
| De $>$ 1 000 à \leq 18 000 | 40 | 2 |

Tab. 3.4. Taille maximale des pas de fréquence pour les méthodes « véhicule ».

Deux méthodes sont proposées pour obtenir le niveau de perturbation souhaité :

- la méthode de la boucle ouverte, ou méthode de substitution, propose de réaliser un calibrage de la valeur à obtenir en l'absence du véhicule. Il s'agit de relever la puissance nécessaire pour obtenir le niveau de perturbation désiré, puis de rejouer ce niveau de puissance en présence du véhicule ;
- la méthode de la boucle fermée vise à établir le niveau de perturbation en présence du véhicule. Cette méthode qui peut apparaître comme la plus logique de prime abord ne l'est pas en fait car, à ce jour en CEM, il n'existe aucune façon de mesurer un niveau de perturbation qui ne soit pas intrusif.

Pour ces deux méthodes, l'équipement de mesure doit être étalonné.

Elle précise également les niveaux maximaux des harmoniques des amplificateurs qui doivent être mesurés lors du calibrage en boucle ouverte ou de la génération en boucle fermée, en utilisant la chaîne de génération qui génère le niveau désiré lors de l'essai. Ces niveaux doivent être inférieurs à 12 dBc pour les fréquences inférieures à 1 GHz et 6 dBc au-dessus.

Elle précise enfin la façon d'appliquer le niveau de perturbation au cours du temps. Le niveau de la perturbation doit être établi par paliers en partant d'un niveau faible qui ne perturbe pas les équipements du véhicule, classiquement

de l'ordre de 10 à 20 dB en dessous du niveau de consigne et d'augmenter ce niveau par palier jusqu'à obtenir le niveau de perturbation désiré. Une fois atteint, ce niveau doit être maintenu pendant 1 s au minimum, voire plus si le temps de vérification du bon fonctionnement de l'équipement soumis à l'essai est supérieure à 1 s. Enfin, le niveau de perturbation est ensuite diminué par palier pour revenir à un niveau de l'ordre de 10 à 20 dB en dessous de la consigne avant de passer à la fréquence suivante. Le temps minimum passé en palier(s) montant(s) doit être de l'ordre d'une demi-seconde, et celui passé en palier descendant peut être nul. Ce mode de génération de perturbation a pour but d'éviter d'observer des perturbations liées à la modulation de fréquence lors du saut de fréquence du générateur au cours du balayage.

Les règles générales sur les classes de fonctionnement et les niveaux d'immunité par classe de I à IV telles que présentés aux paragraphes A, *b*. et *c*. sont rappelés sans pour autant définir de niveau, car ce sera fait pour chacune des normes proposant des méthodes d'essais.

b. ISO 11451-2

Cette méthode d'essai a pour but de générer un champ électromagnétique exprimé en volts par mètre. Le transducteur générique utilisé pour ce faire est une antenne.

La principale nouveauté de cette troisième édition par rapport à la précédente édition de 2001 est l'ajout de la méthode de calibrage quatre capteurs proposée par les experts français.

L'objectif de cette norme est de s'assurer de l'immunité du véhicule lorsqu'il se déplace à proximité d'antennes présentes dans l'environnement et qui génèrent du champ électromagnétique.

La méthode est prévue pour couvrir la bande de fréquence de 10 kHz à 18 GHz, mais les limites hautes utilisées par les constructeurs automobiles varient à l'heure actuelle entre 3 GHz et 3,5 GHz.

Conditions et méthode d'essai

Cette norme rappelle la liste des paramètres influents donnés dans l'ISO 11451-1 qui lui sont propres.

Il est préférable de réaliser les essais à l'intérieur d'une chambre semi-anéchoïque afin d'éviter de perturber son environnement, l'utilisation d'une chambre totalement anéchoïque est autorisée. Les caractéristiques de cette cage doivent être telles que la partie d'énergie réfléchi sur les parois doit être inférieure au minimum de 10 dB par rapport à l'énergie incidente dans la zone d'essai.

L'essai doit être réalisé pour les deux polarisations verticale et horizontale de l'antenne de génération.

Les antennes utilisées pour générer le champ doivent être à au moins 50 cm des absorbants et 1,5 m des parois de la cage. Quelle que soit l'antenne utilisée, elle doit être à plus de 50 cm de n'importe quelle partie du véhicule.



Si des antennes de type ligne de transmission sont utilisées pour les basses fréquences, elles doivent couvrir au moins 75 % de la longueur du véhicule et être situées à au moins 1 m du point de référence.

Pour les antennes autres que les antennes de type ligne de transmission, la distance horizontale entre le centre de phase de l'antenne et le point de référence doit être d'au moins 2 m et aucune partie de l'antenne ne doit être à moins de 25 cm du sol.

La méthode de définition du niveau de champ est la méthode de substitution.

Le véhicule est placé sur un sol plan de sorte que l'axe du point de référence se trouve soit à 20 cm de l'axe des roues avant du véhicule, soit à 1 m à l'intérieur du véhicule en partant de l'intersection du pare-brise et du capot du véhicule. La solution retenue est celle pour laquelle le point de référence est le plus proche de l'antenne.

Calibrage du champ

Le monde de l'automobile a choisi, au départ, de réaliser des calibrages en un seul point de l'espace comme dans d'autres domaines tels que le domaine militaire par exemple. Ainsi les deux premières éditions de cette norme ne proposaient que des calibrages de type monocapteur.

La première édition permet d'utiliser soit la méthode de la boucle fermée, soit celle de substitution et de s'asservir sur la puissance incidente ou transmise à l'antenne.

L'expérience a démontré, du fait du faible coefficient de réflexion des antennes utilisées, que la meilleure solution était d'utiliser la méthode de substitution en puissance incidente.

Au cours des années, il est apparu que cette méthode donnait des résultats identiques lorsque le capteur de champ était dans la zone de champ proche de l'antenne ou lorsque le capteur était suffisamment éloigné de l'antenne d'un point de vue électrique pour que les trajets des ondes réfléchies deviennent négligeables devant les trajets des ondes incidentes directes.

Entre ces deux distances, de faibles écarts de position du capteur de champ pouvaient générer des écarts importants sur le niveau de champ calibré. Il est donc apparu que cette méthode, bien que plus rapide, était limitée du point de vue de la standardisation.

Dans l'optique de conserver une durée de calibrage raisonnable, la méthode quatre capteurs a été introduite dans cette norme. Il s'agit, pour les fréquences comprises entre 20 MHz (fin des conditions de champ proche) et 2 GHz (début des conditions de champ lointain), de réaliser le calibrage en quatre points superposés le long de l'axe vertical de référence. La moyenne linéaire des puissances incidentes de calibrage permettant de générer le niveau de consigne requis était ensuite utilisée pour générer le niveau de perturbation désiré.

Ainsi, pour les véhicules dont le toit est à 3 m ou moins au-dessus du sol, les points de référence sont les suivants :

- 1 m au-dessus du sol pour le calibrage monocapteur ;
- 0,5 m, 0,8 m, 1 m et 1,2 m pour le calibrage de quatre capteurs.

Pour les véhicules dont le toit est à plus de 3 m au-dessus du sol, les points de référence sont les suivants :

- 2 m au-dessus du sol pour le calibrage monocapteur ;
- 1,2 m, 1,5 m, 1,8 m et 2,1 m pour le calibrage de quatre capteurs.

L'homogénéité du champ est ensuite vérifiée à 6 50 cm de part et d'autre du point de référence afin de s'assurer que le niveau de perturbation généré sur au moins 80 % des fréquences est compris entre 1 0 dB et 2 6 dB.

Un calibrage par antenne utilisée et par polarisation de l'antenne est réalisé.

Niveaux d'immunité

Quatre niveaux d'immunité sont proposés dans cette norme (tab. 3.5).

| Sévérité | I | II | III | IV |
|-------------------------|----|----|-----|-----|
| Niveau d'immunité (V/m) | 25 | 50 | 75 | 100 |

Tab. 3.5. Niveaux de champ suggérés pour les véhicules.

c. ISO 11451-3

Cette méthode d'essai a pour but de générer un champ électromagnétique. Le niveau de champ réel est inconnu, la grandeur physique mesurée est la puissance aux bornes du transducteur. Le transducteur générique utilisé pour ce faire est une antenne.

L'objectif de cette norme est de s'assurer de l'immunité du véhicule lorsqu'il se déplace tout en générant du champ électromagnétique à l'aide d'émetteurs embarqués à l'intérieur du véhicule. Cette norme avait été créée au départ pour répondre à la problématique des véhicules « de flotte » qui utilisaient des systèmes de communication embarqués. Les progrès réalisés ces dix dernières années dans le domaine des communications mobiles nécessitent qu'elle soit révisée. Cependant ses principes généraux restent d'actualité. Cette norme est en cours de révision, mais une deuxième édition, plus appropriée à la problématique des communications mobiles actuelles, devrait être publiée avant fin 2007-début 2008.

La méthode est prévue pour couvrir la bande de fréquence s'étendant de 1,8 MHz à 1,3 GHz.

Conditions et méthode d'essai

Cette norme est antérieure à l'édition en cours de l'ISO 11451-3. Elle impose d'utiliser des pas de fréquence linéaires tels que décrits dans le tableau 3.6.

| Bande de fréquence (MHz) | Pas linéaire (MHz) |
|-------------------------------|--------------------|
| De $\geq 1,8$ à ≤ 10 | 1 |
| De > 10 à ≤ 200 | 2 |
| De > 200 à $\leq 1\ 000$ | 20 |
| De $> 1\ 000$ à $\leq 1\ 300$ | 200 |

Tab. 3.6. Pas de fréquence pour les émetteurs embarqués.

Ces essais sont plus aisés à réaliser à l'intérieur d'une chambre anéchoïque ; néanmoins, ils peuvent être réalisés à l'extérieur lorsque la législation locale le permet. Dans ce cas, ils doivent être faits en site ouvert dans un espace dégagé d'au moins 20 m de rayon de toute structure métallique. Alternativement, ces essais peuvent être réalisés dans une enceinte blindée réfléchissante telle que sous un pont ou à l'intérieur d'un bâtiment dont l'infrastructure est métallique.

Les essais ne sont à réaliser qu'en CW et en AM sur toute la bande de fréquence.

Les antennes utilisées sont de préférence des antennes quart d'onde car elles génèrent des courants de surface plus importants que les antennes 5/8e d'onde. L'antenne doit être adaptée de sorte que son rapport d'onde stationnaire (ROS) soit toujours inférieur à 1,5:1.

Les émetteurs embarqués sont de deux types :

- soit ils sont installés dans le véhicule ;
- soit il est possible de les tenir à la main (*hand held*).

Il convient au préalable de définir les points auxquels les antennes seront installées pour réaliser l'essai.

Au besoin, des colliers de ferrite peuvent être placés autour des câbles d'alimentation qui amènent la puissance à l'antenne afin de limiter les courants de surface générés par ce câble et privilégier ceux générés par l'antenne.

Calibrage du champ

La puissance au pied de l'antenne doit être calibrée avant d'être appliquée sur le véhicule.

Niveaux d'immunité

Deux niveaux d'immunité sont proposés dans cette norme. Pour les équipements qui peuvent être tenus en main, la puissance de sortie doit être comprise entre 3 W et 8 W. Pour les équipements utilisant des antennes déportées, la puissance à générer est telle que décrite dans le tableau 3.7.

| Bande de fréquence (MHz) | Puissance de sortie (W) | Bande de fréquence (MHz) | Puissance de sortie (W) |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| De 1,8 à 2 | 100 | De 30 à 50 | 120 |
| De 3,5 à 4 | 100 | De 50 à 54 | 150 |
| De 7 à 7,3 | 100 | De 60 à 87 | 100 |
| De 10,1 à 10,15 | 100 | De 120 à 130 | 100 |
| De 14 à 14,35 | 100 | De 144 à 148 | 150 |
| De 18,1 à 18,15 | 100 | De 148 à 172 | 120 |
| De 21 à 21,45 | 100 | De 220 à 225 | 150 |
| De 24,89 à 24,99 | 100 | De 420 à 470 | 100 |
| De 27 à 28 | 5 | De 851 à 928 | 10 |
| De 28 à 29,7 | 100 | De 1 260 à 1 300 | 10 |

Tab. 3.7. Niveaux de puissance suggérés pour émetteurs embarqués à antenne déportée.

d. ISO 11451-4

Cette méthode d'essai a pour but d'induire un courant électrique exprimé en milliampères sur les torons électriques du véhicule. Le transducteur générique utilisé pour ce faire est une pince d'injection RF (couplage inductif).

Cette seconde édition n'apporte pas de réelle nouveauté par rapport à la précédente, si ce n'est l'imposition de l'utilisation de la puissance incidente sur la pince de couplage comme puissance utilisée pour le calibrage.

L'objectif de cette norme est de s'assurer de l'immunité des équipements installés à l'intérieur du véhicule en couplant un courant sur les torons de cet équipement.

Cette méthode est intermédiaire entre les méthodes d'essai équipement et véhicule, puisque l'immunité du véhicule est assurée en réalisant les essais sur l'ensemble des équipements qui le composent. Cette méthode est généralement utilisée dans le cadre d'études ou pour valider des véhicules dont les dimensions sont trop importantes pour que les essais soient réalisés dans des chambres semi-anéchoïques, tels que des autobus articulés ou de gros engins de génie civil.

La méthode est prévue pour couvrir la bande de fréquence de 1 MHz à 400 MHz.

Conditions et méthode d'essai

Cette norme rappelle la liste des paramètres influents donnés dans l'ISO 11451-1 qui lui sont propres.

Il n'est stipulé aucun site d'essai particulier pour réaliser ces essais. Il faut cependant prendre garde à ne pas exposer le personnel à des niveaux de perturbation supérieurs aux niveaux acceptés pour les travailleurs.

L'essai doit être réalisé pour chaque équipement installé à bord du véhicule. Les conditions d'installation de l'équipement à bord du véhicule doivent être les conditions génériques et aucune connexion de masse particulière ne doit être ajoutée.

Le véhicule en essai doit être placé à plus de 50 cm de toute surface conductrice à l'exception du sol qui peut être métallique.

Chaque faisceau de chaque équipement doit être placé à l'intérieur de la pince d'injection. Cette dernière doit être placée à 15 ± 1 cm de l'équipement soumis à l'essai.

Pour atteindre le niveau de perturbation désiré, deux méthodes peuvent être utilisées :

- la méthode de substitution ;
- la méthode de la boucle fermée.

Méthode de substitution

À l'aide d'un dispositif de calibrage ou JIG, on établit le niveau de puissance incidente nécessaire à l'établissement du niveau de courant à injecter sur 50Ω

(en réalité sur deux fois 50Ω). Le niveau de puissance incidente du calibrage est ensuite régénéré dans la pince lorsque cette dernière est placée autour de chaque toron de chaque équipement installé à bord du véhicule.

Méthode de la boucle fermée

La pince d'injection est directement installée autour de chaque toron de chaque équipement installé à bord du véhicule. Une pince de mesure étalonnée, reliée à un analyseur de spectre ou équivalent est insérée entre la pince d'injection et l'équipement soumis à l'essai à 5 cm de ce dernier.

Le niveau de puissance incidente sur la pince d'injection est alors augmenté jusqu'à atteindre le niveau de courant désiré, mesuré à l'aide de la pince de mesure. Une puissance limite peut être définie dans le plan d'essai afin de ne pas envoyer un niveau de puissance trop important sur l'équipement.

Niveaux d'immunité

Quatre niveaux d'immunité sont proposés dans cette norme (tab. 3.8).

| Sévérité | I | II | III | IV |
|------------------------|----|----|-----|-----|
| Niveau d'immunité (mA) | 25 | 50 | 75 | 100 |

Tab. 3.8. Niveaux de courant suggérés pour les véhicules.

E. Série ISO 11452

Cette série de normes prend en compte les phénomènes de perturbation bande étroite principalement générés par les équipements radiofréquence, qui ont pour vocation d'utiliser les ondes électromagnétiques comme moyen de propagation tels les émetteurs de radiotélévision ou de radiotéléphonie. Elle propose des méthodes de validation des équipements. Les premières éditions remontent à 1994 et ont toutes été remplacées aujourd'hui. Une méthode d'essai tombée en désuétude a donc été retirée ; il s'agit de l'ISO 11452-6 sur les antennes à plaques parallèles. Cette série est actuellement composée de six normes :

- Véhicules routiers : Méthodes d'essai d'un équipement soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite. Partie 1 : Principes généraux et terminologie.
- Véhicules routiers : Méthodes d'essai d'un équipement soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite. Partie 2 : Chambre anéchoïque.
- Véhicules routiers : Méthodes d'essai d'un équipement soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite. Partie 3 : Cellule à mode électromagnétique transverse (TEM).
- Véhicules routiers : Méthodes d'essai d'un équipement soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite. Partie 4 : Méthodes d'injection de courant (BCI).
- Véhicules routiers : Méthodes d'essai d'un équipement soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite. Partie 5 : Ligne TEM à plaques.

- Véhicules routiers : Méthodes d'essai d'un équipement soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite. Partie 7 : Injection directe de puissance aux fréquences radioélectriques (RF).

a. ISO 11452-1 

Cette troisième édition a pour objet de traiter des définitions et des termes communs utilisés dans les autres normes de la série et fixe les limites de la série.

Cette série de normes se situe dans le domaine fréquentiel. Elle précise les grandeurs utilisées et les tolérances à y appliquer au cours de la série de normes ISO 11452. Elle précise également les paramètres influents à relever pour l'établissement du rapport d'essai. En particulier, elle précise que, pour l'ensemble des méthodes d'essais de cette série, les essais doivent être réalisés entre 18 °C et 28 °C.

Elle définit les tensions nécessaires pour alimenter les équipements soumis aux essais lorsqu'ils subissent la perturbation (tab. 3.9).

| Tension | Tension nominale (12 V) | Tension nominale (24 V) |
|--------------|----------------------------|----------------------------|
| Alimentation | 13,5 ± 0,5 V | 27,0 ± 1,0 V |

Tab. 3.9. Tensions d'alimentation.

L'alimentation utilisée pour alimenter les équipements doit avoir une résistance interne purement résistive jusqu'à 400 Hz au moins et de valeur inférieure à 0,01 Ω.

Lors des essais, l'équipement doit être dans un mode de fonctionnement identique à celui qu'il aurait sur véhicule. Au besoin, un simulateur peut être utilisé pour activer l'équipement.

Les connexions de l'équipement à la masse doivent être identiques (locale ou déportée) à celles utilisées lorsque l'équipement est installé dans le véhicule.

De plus, elle présente les trois modulations classiques utilisées pour ces méthodes d'essai :

- la modulation CW ou onde entretenue qui est en fait l'absence de modulation et la présence uniquement du signal de porteuse. Elle est utilisée sur toute la bande de fréquence ;
- la modulation AM ou modulation d'amplitude dont l'indice de modulation est de 80 % ; la fréquence de modulation de 1 kHz possède la particularité de conserver la valeur crête. Ceci veut dire que le niveau crête AM est égal au niveau crête CW (et non pas 1,8 fois le niveau CW comme cela devrait être le cas). Elle est utilisée pour les fréquences inférieures à 800 MHz ;
- la modulation PM ou modulation d'impulsion a pour objectif de simuler les modulations numériques actuellement largement utilisées. Elle a une durée de transmission de 577 μs et une période de répétition de 4 600 μs. Elle est utilisée pour les fréquences supérieures à 800 MHz.

Elle propose un tableau pour le pas fréquentiel avec deux options, le pas linéaire ou le pas logarithmique en précisant les valeurs les plus lâches à appliquer (tab. 3.10).

| Bande de fréquence (MHz) | Pas linéaire (MHz) | Pas logarithmique (%) |
|--------------------------------|--------------------|-----------------------|
| De $\geq 0,01$ à $\leq 0,1$ | 0,01 | 10 |
| De $> 0,1$ à ≤ 1 | 0,1 | 10 |
| De > 1 à ≤ 10 | 1 | 10 |
| De > 10 à ≤ 200 | 5 | 5 |
| De > 200 à ≤ 400 | 10 | 5 |
| De > 400 à $\leq 1\ 000$ | 20 | 2 |
| De $> 1\ 000$ à $\leq 18\ 000$ | 40 | 2 |

Tab. 3.10. Taille maximale des pas de fréquence pour les méthodes « équipement ».

Trois méthodes sont proposées pour obtenir le niveau de perturbation souhaité :

- la méthode de la boucle ouverte, ou méthode de substitution, propose de réaliser un calibrage de la valeur à obtenir en l'absence du véhicule. Il s'agit de relever la puissance nécessaire pour obtenir le niveau de perturbation désiré, puis de rejouer ce niveau de puissance en présence de l'équipement ;
- la méthode de la boucle fermée vise à établir le niveau de perturbation en présence du véhicule. Cette méthode qui peut apparaître comme la plus logique de prime abord ne l'est pas, car à ce jour en CEM, il n'existe aucune façon de mesurer un niveau de perturbation qui ne soit pas intrusive ;
- la méthode théorique est utilisée lorsque les caractéristiques physiques du transducteur sont parfaitement connues et maîtrisées comme par exemple c'est le cas pour une cellule TEM ou une ligne à plaque (stripline). Dans ce cas, il existe une formule mathématique simple qui permet de relier la puissance incidente au niveau de la perturbation désiré en utilisant l'impédance de transfert du transducteur. Il ne reste alors qu'à faire une règle de trois pour connaître le niveau de puissance à injecter à l'intérieur du transducteur.

Pour ces trois méthodes, l'équipement de mesure doit être étalonné.

La norme précise également les niveaux maximaux des harmoniques des amplificateurs qui doivent être mesurés lors du calibrage en boucle ouverte ou de la génération en boucle fermée, en utilisant la chaîne de génération qui génère le niveau lors de l'essai. Ces niveaux doivent être inférieurs à 12 dBc pour les fréquences inférieures à 1 GHz et 6 dBc au-dessus.

Elle précise enfin la façon d'appliquer le niveau de perturbation au cours du temps. Le niveau de la perturbation doit être établi par palier en partant d'un niveau faible qui ne perturbe pas les équipements du véhicule, classiquement de l'ordre de 10 à 20 dB en dessous du niveau de consigne et d'augmenter ce

niveau par palier jusqu'à obtenir le niveau de perturbation désiré. Une fois atteint, ce niveau doit être maintenu pendant 1 s au moins, voire plus si la vérification du bon fonctionnement de l'équipement soumis à l'essai est supérieure à 1 s. Enfin, le niveau de perturbation est ensuite diminué par palier pour revenir à un niveau de l'ordre de 10 à 20 dB en dessous de la consigne avant de passer à la fréquence suivante. Le temps minimum passé en palier(s) montant(s) doit être de l'ordre d'une demi-seconde, et celui passé en palier descendant peut être nul. Ce mode de génération de perturbation a pour but d'éviter d'observer des perturbations liées à la modulation de fréquence lors du saut de fréquence du générateur au cours du balayage.

Les règles générales sur les classes de fonctionnement et les niveaux d'immunité par classe de I à IV (voire V pour l'ISO 11452-7) telles que présentées aux paragraphes 3, A, b. et c. sont rappelées sans pour autant préciser de niveau, car ceci sera fait pour chacune des normes proposant des méthodes d'essais.

b. ISO 11452-2

Cette méthode d'essai a pour but de générer un champ électromagnétique exprimé en volts par mètre. Le transducteur générique utilisé pour ce faire est une antenne.

Cette seconde édition apporte principalement trois modifications importantes par rapport à la précédente de 1995 :

- l'utilisation de la puissance incidente exclusivement ;
- l'extension de la fréquence basse d'utilisation de cette méthode de 200 MHz à 80 MHz pour être en phase avec la CEI 61000-4-3  ;
- l'irradiation directe de l'équipement et non plus de son faisceau pour les fréquences supérieures à 1 GHz.

L'objectif de cette norme est de s'assurer de l'immunité de l'équipement lorsque lui et son faisceau sont soumis à un champ électromagnétique.

La méthode est prévue pour couvrir la bande de fréquence de 80 MHz à 18 GHz, mais les limites hautes utilisées par les constructeurs automobiles varient actuellement entre 3 GHz et 3,5 GHz.

Conditions et méthode d'essai

Cette norme rappelle la liste des paramètres influents donnés dans l'ISO 11452-1 qui lui sont propres.

Ces essais doivent être réalisés à l'intérieur d'une chambre semi-anéchoïque ou éventuellement totalement anéchoïque. Les caractéristiques de cette cage doivent être telles que la partie d'énergie réfléchie sur les parois doit être inférieure au minimum de 10 dB par rapport à l'énergie incidente dans la zone d'essai.

L'essai doit être réalisé pour les deux polarisations verticale et horizontale de l'antenne de génération.

Les antennes utilisées pour générer le champ doivent être à au moins 50 cm des absorbants et 1,5 m des parois de la cage. Aucune partie de l'antenne ne doit être à moins de 25 cm du sol.



L'équipement soumis à l'essai doit être disposé sur un plan de masse. Ce plan de masse doit être en cuivre, laiton ou acier galvanisé et d'une épaisseur minimale de 0,5 mm.

Il doit être placé à une hauteur de 900 ± 100 mm au-dessus du sol et relié à la masse de la cage de Faraday au travers de liaisons distantes les unes des autres de 30 cm maximum ayant une résistance continue inférieure à $2,5 \text{ m}\Omega$.

Les dimensions minima requises sont de $2\ 000 \pm 1\ 000$ mm. Dans tous les cas de figure, les dimensions du plan de masse doivent être suffisantes pour accueillir l'équipement et disposer de 20 cm supplémentaires dans toutes les directions.

L'équipement est alimenté au travers de RSIL tels que décrits dans le paragraphe 2, C, a. 8. Selon que l'équipement soumis à l'essai est à masse déportée ou non sur le véhicule, sa ligne de masse sera reliée à la masse *via* le RSIL ou localement sur le plan de masse.

Lors des essais, les bornes de mesure des RSIL doivent être chargées sur 50Ω .

L'équipement soumis à l'essai et son faisceau doivent être surélevés au-dessus du plan de masse à l'aide d'un diélectrique de permittivité relative inférieure ou égale à 1,4 et à une hauteur de 50 ± 5 mm.

Le faisceau de l'équipement incluant ses fils de signal, de commande et d'alimentation doit mesurer entre 1,7 m et 2,0 m.

Lorsque c'est nécessaire pour vérifier le bon fonctionnement de l'équipement soumis à l'essai, un banc de simulation est disposé sur le plan de masse (et relié mécaniquement dessus) entre les RSIL et le faisceau. S'il n'est pas disposé sur le plan de masse, les fils de masse doivent être connectés entre le faisceau et le banc de simulation.

Le faisceau est disposé en U de sorte que $1\ 500 \pm 75$ mm soient exposés à la perturbation en longeant la partie la plus longue du plan de masse à 10 cm du bord de ce dernier.

Trois types d'antennes peuvent être utilisés pour générer la perturbation sur l'ensemble de la bande de fréquence :

- l'antenne biconique dont le centre de phase est au centre de son baloon ;
- l'antenne biconique dont le centre de phase est considéré comme étant à la pointe de l'antenne ;
- l'antenne cornet dont le centre de phase est au centre du plan d'ouverture du cornet.

L'antenne est disposée de sorte que son centre de phase soit à 10 cm au-dessus du plan de masse et à 1 m de la partie longitudinale du faisceau exposé. De plus entre 80 MHz et 1 GHz, elle doit être alignée avec le centre de la partie longitudinale du faisceau exposé et décalée de 750 mm vers l'équipement soumis à l'essai au-dessus de 1 GHz.

La méthode de définition du niveau de champ est la méthode de substitution.

Calibrage du champ

Lors du calibrage du champ, le capteur est placé 15 ± 1 cm au-dessus du plan de masse à 10 ± 1 cm du bord de ce dernier. Entre 80 MHz et 1 GHz, le capteur est aligné sur la position où le centre de la partie longitudinale du faisceau exposé sera placé, puis translaté de 750 mm vers la position de l'équipement soumis à l'essai au-dessus de 1 GHz.

La puissance incidente est utilisée.

Un calibrage par antenne et par polarisation de l'antenne est réalisé.

Niveaux d'immunité

Quatre niveaux d'immunité sont proposés dans cette norme (tab. 3.11).

| Sévérité | I | II | III | IV |
|-------------------------|----|----|-----|-----|
| Niveau d'immunité (V/m) | 25 | 50 | 75 | 100 |

Tab. 3.11. Niveaux de champ en chambre absorbante suggérés pour les équipements.

c. ISO 11452-3

Cette méthode d'essai a pour but de générer du champ électromagnétique exprimé en V/m. Le transducteur générique utilisé pour ce faire est une cellule transverse électromagnétique (TEM).

L'objectif de cette norme est de s'assurer de l'immunité de l'équipement lorsque lui et son faisceau sont soumis à un champ électromagnétique.

La méthode est prévue pour couvrir la bande de fréquence de 10 kHz à 200 MHz.

Conditions et méthode d'essai

Cette norme rappelle la liste des paramètres influents donnés dans l'ISO 11452-1 qui lui sont propres.

Ces essais doivent être réalisés à l'intérieur d'une cellule TEM dont les dimensions limitent sa fréquence haute d'utilisation à 200 MHz pour une impédance caractéristique de 50Ω .

L'équipement est disposé à l'intérieur de la cellule dans sa demi-partie inférieure. Deux types d'essais peuvent être réalisés selon que le mode de couplage choisi est le couplage par le câblage de l'équipement soumis à l'essai ou sur l'équipement directement.

Dans le premier cas, l'équipement est disposé au centre de la partie inférieure de la cellule sur un support diélectrique de permittivité relative inférieure ou égale à 1,4 et de hauteur égale à $1/6$ de la hauteur de la cellule. Les différents fils constituant le faisceau de l'équipement utilisent une série de pistes normalisées de type circuit imprimé qui amènent chaque signal de l'équipement soumis à l'essai au panneau de traversée. La difficulté de cette méthode est qu'il devient très rapidement complexe de soumettre à l'essai des équipements ayant un grand nombre de fils ou ayant des fils d'alimentation utilisant de forts courants.

Dans le second cas, l'équipement est également disposé au centre de la partie inférieure de la cellule sur un support diélectrique de permittivité relative inférieure ou égale à 1,4, mais sa hauteur est égale à 50 ± 5 mm. Le faisceau de câbles est directement relié au sol de la cellule par le chemin le plus direct, puis va jusqu'au panneau de traverse de la cellule en restant plaqué sur le sol de la cellule.

Dans les deux cas, la traversée de la paroi de la cellule, qui se situe à une hauteur de $1/24^e$ de la hauteur de la cellule, est alors réalisée à l'aide de connecteurs coaxiaux qui sont ensuite filtrés. Les filtres sont décrits dans l'annexe C de la norme.

Une autre limitation de cette méthode est liée aux contraintes dimensionnelles de la cellule qui ne permet d'accueillir que des équipements de taille modeste (classiquement un cube de 10 cm d'arête pour les cellules standards).

Génération du champ

En sortie, la cellule TEM est chargée à l'aide d'une résistance de puissance de 50Ω . En entrée, il est nécessaire de disposer d'un filtre passe-bas dont le pouvoir de coupure est d'au moins 60 dB à 1,5 fois la fréquence maximale utilisée (typiquement 300 MHz).

Lorsque les règles de construction stipulées en annexe A de la norme sont suivies, le champ généré dans la cellule pour un équipement de faible volume est le champ théorique calculé à 2 dB près. Tout naturellement, la méthode théorique est donc utilisée pour définir la puissance à transmettre à l'intérieur de la cellule pour générer le niveau de champ désiré.

La formule utilisée est la suivante :

$$|E| = \frac{\sqrt{Z \times P}}{d},$$

où $|E|$ est le niveau de champ (V/m) à atteindre, Z l'impédance (Ω) de la cellule (typiquement 50Ω), P la puissance (W) à injecter dans la cellule et d la distance (m) entre le sol de la cellule et le septum.

Niveaux d'immunité

Quatre niveaux d'immunité sont proposés dans cette norme (tab. 3.12).

| Sévérité | I | II | III | IV |
|-------------------------|----|-----|-----|-----|
| Niveau d'immunité (V/m) | 50 | 100 | 150 | 200 |

Tab. 3.12. Niveaux de champ en cellule TEM suggérés pour les équipements.

d. ISO 11452-4

Cette méthode d'essai a pour but de superposer un courant exprimé en mA sur le faisceau de l'équipement soumis à l'essai. Le transducteur générique utilisé pour ce faire est une pince d'injection RF (couplage inductif).

Cette troisième édition apporte principalement deux modifications importantes par rapport à la précédente de 1995 :

- la possibilité d'utiliser la méthode d'asservissement en courant avec limitation de la puissance injectée ;
- la possibilité d'utiliser la méthode de substitution pour plusieurs positions de pince d'injection sur le faisceau.

L'objectif de cette norme est de s'assurer de l'immunité de l'équipement lorsque lui et son faisceau sont soumis à un champ électromagnétique.

La méthode est prévue pour couvrir la bande de fréquence de 1 MHz à 400 MHz. La seconde édition de 2001 présente de nombreuses erreurs techniques qui ne reflètent en rien les méthodes utilisées dans le monde de la CEM automobile.

Conditions et méthode d'essai

Cette norme rappelle la liste des paramètres influents donnés dans l'ISO 11452-1 qui lui sont propres.

Ces essais doivent être réalisés à l'intérieur d'une enceinte blindée qui peut être anéchoïsée partiellement ou totalement. L'équipement soumis à l'essai doit être à plus de 50 cm des parois de la cage de Faraday.

L'équipement soumis à l'essai doit être disposé sur un plan de masse. Ce plan de masse doit être en cuivre, laiton ou acier galvanisé et d'épaisseur minimum 0,5 mm.

Il doit être placé à une hauteur de 900 ± 100 mm au-dessus du sol et relié à la masse de la cage de Faraday au travers de liaisons distantes les unes des autres de 30 cm maximum ayant une résistance continue inférieure à 2,5 m Ω .

Les dimensions minima requises sont de 1 500 × 1 000 mm. Dans tous les cas de figure, les dimensions du plan de masse doivent être suffisantes pour accueillir l'équipement et disposer de 20 cm supplémentaires dans toutes les directions.

L'équipement est alimenté au travers de RSIL tels que décrits dans le paragraphe 2, C, a. 8. Selon que l'équipement soumis à l'essai est à masse déportée ou non sur le véhicule, sa ligne de masse sera reliée à la masse via le RSIL ou localement sur le plan de masse.

Lors des essais, les bornes de mesure des RSIL doivent être chargées par 50 Ω .

L'équipement soumis à l'essai et son faisceau doivent être surélevés au-dessus du plan de masse à l'aide d'un diélectrique de permittivité relative inférieure ou égale à 1,4 et d'une hauteur de 50 ± 5 mm.

Le faisceau de l'équipement incluant ses fils de signal, de commande et d'alimentation doit faire entre $1\,000 \pm 100$ mm (longueur entre l'équipement et son banc de simulation).

Si nécessaire, pour vérifier le bon fonctionnement de l'équipement soumis à l'essai, un banc de simulation est disposé sur le plan de masse (et relié mécaniquement à celui-ci) entre les RSIL et le faisceau. S'il n'est pas disposé sur le plan de masse, les fils de masse doivent y être connectés entre le faisceau et le banc de simulation.

Le faisceau est disposé de façon rectiligne en longeant la partie la plus longue du plan de masse, à plus de 20 cm du bord de ce dernier.

Deux méthodes peuvent être utilisées au choix :

- la méthode de substitution ;
- la méthode en boucle fermée avec limitation en puissance.

La raison d'existence de ces deux méthodes est liée aux phénomènes de propagation et de résonances de la perturbation le long du faisceau de l'équipement. Chaque méthode tente d'apporter une solution et de lisser ces phénomènes. Ces deux méthodes nécessitent qu'un calibrage préalable soit établi. Ces deux méthodes utilisent la puissance incidente.

L'essai doit être réalisé successivement sur chaque toron de l'équipement soumis à l'essai.

Calibrage du courant

À l'aide d'un dispositif de calibrage ou JIG, le niveau de puissance incidente nécessaire à l'établissement du niveau de courant à injecter sur 50 Ω (en réalité sur deux fois 50 Ω) est établi. Le niveau de puissance incidente du calibrage est ensuite régénéré dans la pince d'injection lors de l'essai.

Méthode de substitution

D BCI : bulk current injection.

C'est la méthode de base de la BCI **D**. Cette méthode est également appelée méthode américaine car elle a été mise au point par GM et Ford. Pour éviter que certaines bandes de fréquences ne soient sous-testées, à cause des antirésonances le long du faisceau, l'essai sera réalisé pour trois positions différentes de la pince d'injection. Ce faisant, les phénomènes d'antirésonance seront décalés en fréquence du fait des différences de longueur de trajet électrique entre les trois positions et l'équipement soumis au niveau de perturbation attendu.

Ces positions se trouvent à 15, 45 et 75 cm du connecteur de l'équipement soumis à l'essai.

Pour chaque faisceau, il faut impérativement réaliser l'essai pour ces trois positions afin de conclure si l'équipement est perturbé ou non par le niveau de perturbation.

Méthode en boucle fermée avec limitation en puissance

Cette méthode est également appelée méthode française car elle a été mise au point conjointement par PSA et Renault.

La pince d'injection est placée à 90 cm de l'équipement soumis à l'essai. Ce faisant, elle se situe proche des RSIL, ce qui lui confère une impédance de référence proche de 50 Ω . Une pince de mesure étalonnée est placée à 5 cm de l'équipement soumis à l'essai afin de mesurer le courant que reçoit l'équipement.

Le niveau de puissance incidente sur la pince d'injection est augmenté jusqu'à ce que :

- soit le courant mesuré sur la pince de mesure est celui du niveau d'essai ;
- soit la puissance incidente sur la pince d'injection est égale à 4 fois la puissance calibrée sur le JIG pour obtenir le niveau d'essai.

Lors que la première de ces deux conditions est atteinte, le niveau est considéré comme atteint.

Niveaux d'immunité

Quatre niveaux d'immunité sont proposés dans cette norme (tab. 3.13).

| Sévérité | I | II | III | IV |
|------------------------|----|----|-----|-----|
| Niveau d'immunité (mA) | 25 | 50 | 75 | 100 |

Tab. 3.13. Niveaux de courant en BCI suggérés pour les équipements.

e. ISO 11452-5

Cette méthode d'essai a pour but de générer du champ électromagnétique exprimé en V/m. Le transducteur générique utilisé pour ce faire est une ligne transverse électromagnétique (TEM) à plaques parallèles ou stripline, adaptée sur 50 Ω.

L'objectif de cette norme est de s'assurer de l'immunité de l'équipement lorsque :

- lui et son faisceau sont soumis à un champ électromagnétique perturbateur ;
- son faisceau est soumis à un champ électromagnétique perturbateur ;
- lui seul est soumis à un champ électromagnétique perturbateur.

La méthode est prévue pour couvrir la bande de fréquence de 10 kHz à 400 MHz.

Conditions et méthode d'essai

Cette norme rappelle la liste des paramètres influents donnés dans l'ISO 11452-1 qui lui sont propres.

Ces essais doivent être réalisés à l'intérieur d'une cage de Faraday. Le transducteur utilisé est une stripline dont les dimensions limitent sa fréquence haute d'utilisation à 400 MHz pour une impédance caractéristique de 50 Ω ; typiquement cette stripline est également appelée stripline ISO ou stripline 15 cm, car la hauteur entre le plan de masse et le septum dans la partie longitudinale est de 15 cm.

Alternativement une stripline d'impédance caractéristique 90 Ω peut être utilisée dans cette norme telle que décrite dans l'annexe A.

En matière de mise en place de l'équipement et de ses périphériques, les règles suivantes doivent être respectées :

- aucune partie du faisceau ou de l'équipement soumis à l'essai disposé sous le septum ne doit être à moins de 20 cm des parties trapézoïdales de la stripline ;
- l'équipement soumis à l'essai et son faisceau doivent être surélevés du plan de masse de 5 cm à l'aide d'un support diélectrique de permittivité relative inférieure ou égale à 1,4 ;
- les équipements non disposés sous le septum de la stripline (RSIL, banc de simulation et équipement soumis à l'essai lorsqu'il n'est pas disposé sous le septum) doivent être placés sur le plan de masse de la stripline, à plus de 20 cm de la bordure du septum ;
- les équipements de plus de 5 cm de haut et de 10 cm de côté ne peuvent pas être soumis à l'essai en étant disposés sous le septum ;
- la longueur de faisceau exposé sous la stripline, lorsqu'il contribue au couplage de l'énergie électromagnétique vers l'équipement soumis à l'essai, doit être à moins de 1 m au centre de la partie longitudinale du septum.

Pour cette norme, il existe trois façons de s'assurer que l'équipement soumis à l'essai continue de fonctionner lorsqu'il est soumis à une perturbation :

- soit l'équipement est disposé seul sous le septum, dans ce cas, son faisceau d'alimentation part perpendiculairement à l'axe longitudinal de la stripline ;
- soit l'équipement et son faisceau d'alimentation sont disposés sous le septum. Dans ce cas, la longueur de faisceau exposé est de 1 m minimum et la sortie du faisceau sous la stripline est réalisé perpendiculairement à l'axe longitudinal de la stripline côté simulateur/alimentation ;
- soit seul le faisceau est exposé. Dans ce cas, il est disposé en U avec la partie horizontale du U située sous le septum, l'équipement soumis à l'essai à un bout et le simulateur et l'alimentation à l'autre bout. C'est généralement la méthode la plus utilisée car elle n'est pas limitée par les contraintes de taille de l'équipement soumis à l'essai comme les deux premières.

En sortie, la stripline est chargée à l'aide d'une charge de puissance 50 Ω . En entrée, il est nécessaire de disposer d'un filtre passe-bas dont le pouvoir de coupure est d'au moins 60 dB à 1,5 fois la fréquence maximale utilisée (typiquement 600 MHz).

Deux méthodes peuvent être utilisées pour générer le champ électromagnétique :

- la méthode théorique ;
- la méthode de substitution.

Méthode théorique

Lorsque les règles de construction stipulées en annexe A de la norme sont suivies, le champ généré dans la cellule pour un équipement de faible volume est le champ théorique calculé à 2 dB près. Tout naturellement, la méthode théorique est donc utilisée pour définir la puissance à transmettre à l'intérieur de la cellule pour générer le niveau de champ désiré.

La formule utilisée est la suivante :

$$|E| = \frac{\sqrt{Z \times P}}{d},$$

où $|E|$ est le niveau de champ (V/m) à atteindre, Z l'impédance (Ω) de la stripline (typiquement 50 Ω), P la puissance (W) à injecter dans la cellule et d la distance (m) entre le plan de masse et le septum.

Méthode de substitution

Lors du calibrage du champ, le capteur est placé au centre de la stripline selon les axes longitudinaux et transversaux du septum et 5 cm au-dessus du plan de masse. Afin de minimiser les erreurs de niveau de champ liées au volume du capteur de champ, ce dernier doit être le plus petit possible et idéalement tenir dans un cube de 5 cm de côté.

La puissance incidente est utilisée.

Niveaux d'immunité

Quatre niveaux d'immunité sont proposés dans cette norme (tab. 3.14).

| Sévérité | I | II | III | IV |
|-------------------------|----|-----|-----|-----|
| Niveau d'immunité (V/m) | 50 | 100 | 150 | 200 |

Tab. 3.14. Niveaux de champ en stripline suggérés pour les équipements.

f. ISO 11452-7

Cette méthode d'essai a pour but d'injecter directement une puissance par couplage par mode différentiel sur chacune des lignes de l'équipement soumis à l'essai à l'exception de la ligne de masse. Ce couplage est réalisé à l'aide d'un système appelé réseau artificiel à large bande : RALB.

Il s'agit d'une capacité montée en série avec cinq bobines. Cette méthode relativement simple a été développée par Chrysler dans les années 1980, dans le but de créer des méthodes d'essais CEM ne nécessitant pas d'investissement lourd.

La méthode est prévue pour couvrir la bande de fréquence de 250 kHz à 500 MHz.

Conditions et méthode d'essai

Cette norme rappelle la liste des paramètres influents donnés dans l'ISO 11452-1 qui lui sont propres.

Ces essais doivent être réalisés sur un plan de masse conforme aux exigences de l'ISO 11542-1. Il est recommandé d'utiliser une cage de Faraday lorsque la génération de perturbation est réglementée. Un RALB est installé successivement sur chaque ligne de l'équipement en le reliant directement au connecteur de l'équipement soumis à l'essai. Si ce n'est pas possible, la ligne reliant l'équipement soumis à l'essai au RALB doit être la plus courte possible. Les lignes de masse sont exclues de l'essai. Lorsqu'un banc de charge ou un simulateur est présent, le RALB doit être inséré entre l'équipement soumis à l'essai et le simulateur ou banc de charge.

Le RALB doit être relié au plan de masse à l'aide d'une connexion de résistance continue inférieure à $0,1 \Omega$.

RALB

Le RALB est constitué d'une capacité (typiquement céramique monolithique de 47 nF) en parallèle avec cinq inductances. Le choix des inductances est défini dans l'annexe A de la norme en fonction de la plage de fréquences à couvrir et de la puissance du courant qui traverse le RALB. Il dispose de trois ports :

- le connecteur d'injection de puissance (1) ;
- le connecteur de sortie qui est connecté au(x) périphérique(s) de cet équipement (2) ;
- le connecteur d'entrée qui est connecté vers l'équipement soumis à l'essai (3).

Le connecteur (2) est en parallèle sur la capacité et les cinq inductances en série et les connecteurs (1) et (3) sont tous deux à l'extrémité des inductances.

Méthode de substitution

Lors du calibrage de la puissance nécessaire au connecteur 1 du RALB, la puissance à injecter sur l'équipement est calibrée en parallèle d'une capacité de blocage (pour éviter qu'un retour de tension continue ne reboucle sur la chaîne de génération). Cette puissance est mesurée à l'aide d'un T installé entre le connecteur d'injection du RALB, la sortie du signal amplifié et la mesure de la puissance injectée.

Lors de l'essai, on augmente la puissance incidente sur l'atténuateur inférieure à 10 mW, par palier de 0,2 dB jusqu'à obtenir le niveau de puissance désiré.

La puissance incidente est utilisée.

Niveaux d'immunité

Cette norme est la seule à proposer cinq niveaux d'immunité et non quatre comme les autres de cette série (tab. 3.15).

| Sévérité | I | II | III | IV | V |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Niveau d'immunité (W) | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |

Tab. 3.15. Niveaux de puissance par injection directe en entrée du RALB suggérés pour les équipements.

4. Synthèse et évolutions en cours

A. Travaux en cours (avril 2007)

Les normes suivantes sont actuellement en cours de révision :

- CISPR 12^W, révision 6 en cours de publication à ce jour en CDV (projet du comité pour vote), publication prévue fin 2007, courant 2008, principale nouveauté :
 - nouveau mode de discrimination bandes étroites/bandes larges.
- CISPR 25^W, révision 3 en cours de publication à ce jour en CDV (projet du comité pour vote), publication prévue fin 2007, courant 2008, principales nouveautés :
 - extension à 2,5 GHz ;
 - nouveau mode de discrimination bandes étroites/bandes larges ;
 - ajout de la méthode stripline en émission rayonnée en annexe informative ;
 - pas de méthode normalisée de validation des chambres (semi) anéchoïques pour cette norme.
- ISO 7637-2^W, révision 3 qui doit proposer pour les impulsions 1, 2 et 3 des niveaux d'essai pour les équipements fonctionnant sous une tension de 42 V et supprimer les impulsions 4 et 5 de sa portée. Il s'agit à ce jour d'un projet de travail qui n'a pas encore été soumis au vote.
- ISO 7637-3^W révision 2 en cours de publication prévue fin 2007, courant 2008 (le DIS : projet de norme internationale est sur le point d'être directement publié) :
 - utilisation du générateur de l'ISO 7637-2:2004 ;
 - nouvelle méthode de couplage inductif pour les impulsions lentes (type 1 & 2).
- ISO 10605^W révision 2 en cours, le projet de norme internationale (DIS) est actuellement soumis au vote pour passage en projet final de norme internationale (FDIS), il y est proposé une refonte totale de la norme plus en phase avec le projet de la CEI de révision de la 61000-4-2, mais avec la spécificité de la problématique automobile.
- ISO 11451-3^W révision 2 en cours de publication prévue fin 2007, courant 2008 (le DIS, projet de norme internationale, est sur le point d'être directement publié), cette norme a été complètement remise à jour pour tenir compte des évolutions dans le domaine des émetteurs embarqués au cours des dix dernières années.

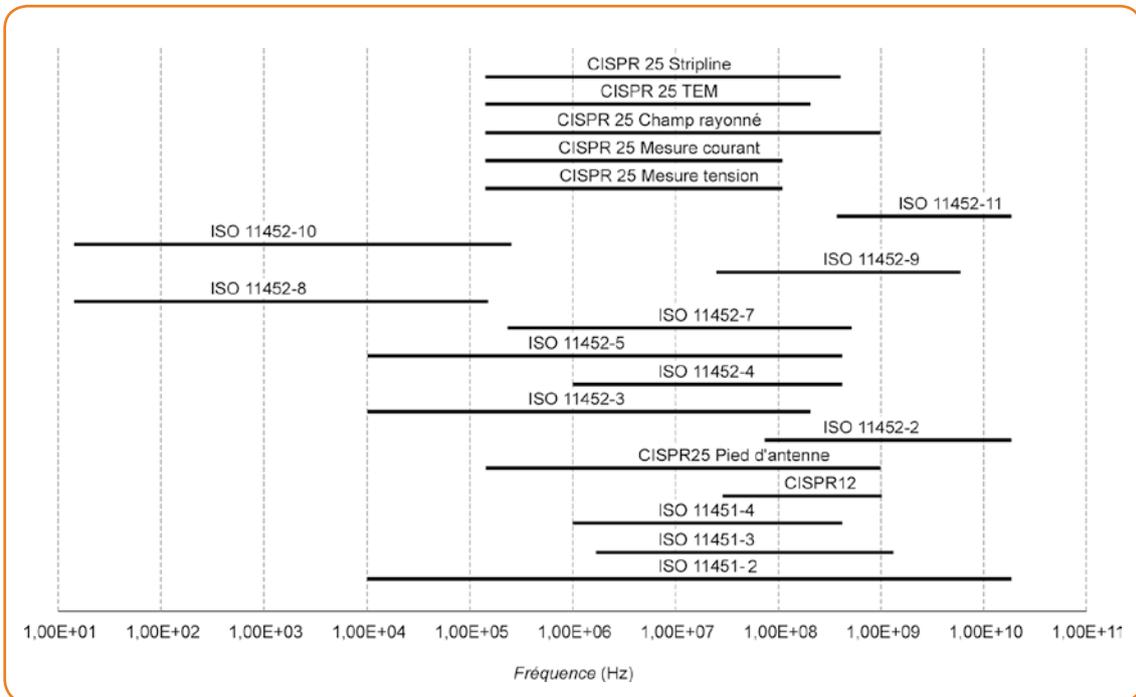
Les nouvelles normes suivantes sont en cours de publication :

- ISO 11452-8^W en cours de publication prévue fin 2007, courant 2008, traite de l'immunité au champ magnétique basse fréquence (de 15 Hz à 150 kHz) ; le DIS, projet de norme internationale, est sur le point d'être publié.
- ISO 11452-9^W est la transcription de l'ISO 11451-3 en tant que méthode équipement. Elle propose une méthode d'essais sur table pour l'immunité aux émetteurs embarqués sur les entités techniques séparées. Cette norme est au stade de projet du comité (CD), deux philosophies de la norme sont actuellement en discussion : faut-il utiliser un émetteur « générique » ou des émetteurs du commerce ?
- ISO 11452-10^W propose une méthode d'essai d'immunité conduite dans la bande de 15 Hz à 250 kHz. C'est le complément conduit de l'ISO 11452-8. La perturbation est couplée successivement sur chacune des lignes de signal de l'équipement à l'aide d'un transformateur d'isolement. Le projet du comité a été soumis au vote pour passage au stade de projet de norme internationale.
- ISO 11452-11^W : le domaine automobile explore les nouvelles méthodes d'essais et en particulier le brassage de mode. Un projet de travail est actuellement en cours d'élaboration afin de d'adapter la méthode aux contraintes du monde automobile. Cette méthode apparaît pour le moment comme une alternative à l'ISO 11452-2, mais laisse présager des possibilités, en particulier du fait de l'irradiation isotropique.

Des addendums sont également en cours de publication pour harmoniser les normes publiées avec celles à venir en ce qui concerne les classifications de l'état de performance de fonctionnement. En effet, les classifications présentées au paragraphe 3.1.2 sont actuellement en cours de révision. La nouvelle version prévoit 4 classifications appelés statuts au lieu de 5, dont la définition est plus recentrée sur la perception de l'utilisateur du véhicule et qui autorise différents niveaux d'immunité pour un même équipement selon ses fonctionnalités (en particulier selon le risque qu'un dysfonctionnement engendrerait).

B. Domaines de fréquence couverts par les normes CEM automobiles

La figure 4.1 représente les méthodes d'essais CEM automobiles immunité et émission, véhicule et équipement en fonction des bandes de fréquences couvertes.



Tab. 4.1. Méthodes CEM automobiles bande étroite.