



Code barres GCAO	Page : 1/32
Exigences génériques de CEM et durcissement pour la conception et le câblage des équipements du LMJ	

LMJ-00321-ZWV-2NT-MOS24566B

EMETTEUR	
Nom	Raphaël ANDRE
Unité	CEA/CESTA/DLP/SISE
Fonction	Chef de Service
Date	23/12/2020
Signature	
Affaire suivie par : Bertrand ETCHESSAHAR	
Responsable Fonction Transverse - CEA/CESTA/DLP/SISE/LIS	
Ce document est la propriété du CEA et ne peut être utilisé, reproduit ou communiqué sans son autorisation	

Les dates indiquées ci-dessus font état de signatures électroniques dans SIROCO.

Origine : CEA/CESTA/DLP/SISE/LIS		Référence à :	
Classification : Diffusion Ordinaire	E.P :	Affaire :	Contrat :
Identification du document			
Nature : NT	Référence :	Date : 27/11/20	Nombre de pages: 32
Rédacteur : Bertrand Etchessahar			
Titre : Exigences génériques de CEM et durcissement pour la conception et le câblage des équipements du LMJ			
Résumé : Ce document présente les règles de conception et les essais applicables aux équipements de l'installation LMJ/PETAL, nécessaires pour garantir leur immunité vis-à-vis des différents phénomènes électromagnétiques et radiatifs induits par les tirs laser.			
Mots clés : exigences, CEM, durcissement, vulnérabilité, IEM, TREE, HE, câblage, conception, enveloppes, PETAL, LMJ			

RÉPERTOIRE DES ÉVOLUTIONS			
INDICE	DATE	NATURE DES EVOLUTIONS	PAGES MODIFIEES
A	29/06/20	Edition initiale	-
B	27/11/20	Domaine d'application étendu à tout le LMJ Changement de l'intitulé des exigences Mention de la directive 2014/30/UE Mise en cohérence du vocabulaire REM-100 : ajout des appareils spécifiques et suppression de la REM-HE 25 REM-102 : mention des tests de validation REM- 108 et 112 : extension à tout le LMJ REM- 200 à 203 : non câblées → câblées REM-203 : extension partielle au HL REM-204 : ajout norme NF EN 6100-6-2 REM-261 : ajouts f. coupure et disjoncteur REM-262 : ajout longueur max. d'ouverture Ajout de la REM-304 : zone HL REM- 305 à 307 : changement intitulés REM-308 : ajout interdiction feuillard seul REM- 353 à 355 : extension jusqu'à 3 GHz REM-361 : assouplissement §5 : suppression de la RET-HE-1 et modification des nombre de neutron et dose	P1, P2 et P4 Toutes P5 et P7 P6 P7 P13 P7 P8 P12 P12 P13 P19 P20 P20 P21 P21 P23 P28 P32 P32
Avant toute utilisation de ce document, vérifiez dans SIROCO son statut d'applicabilité			
ARCHIVAGE DE LA VERSION PERIMEE		TRANSFERT BCA	☒
		ELIMINATION	☐

VÉRIFICATION - DE DOCUMENT			
INDICE	FONCTION	NOM DU VÉRIFICATEUR	UNITÉ
B	Expert CEM DAM	Sébastien Bazzoli	CEA/DIF/DCRE/SEIM
B	Chef de laboratoire	Raphaël Clatot	CEA/CESTA/DLP/SISE
B	CA Ingénierie Système	Antoine Vergneau	CEA/CESTA/DLP

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION DU DOCUMENT	4
1.1 Objet	4
1.2 Domaine d'application	4
1.3 Documents applicables et de référence	4
1.4 Terminologie applicable	5
2. DÉMARCHE POUR OBTENIR L'IMMUNITÉ AUX AMBIANCES EM ET RADIATIVES DE L'INSTALLATION	6
3. RÈGLES DE CONCEPTION CEM ET DE CABLÂGE DES COMPOSANTS, ÉQUIPEMENTS ET ENVELOPPES	7
3.1 Règles générales	7
3.2 Règles pour les enveloppes	12
3.2.1 Atténuations des enveloppes	12
3.2.2 Traitement des ouvertures et de la connectique	13
3.3 Règles de câblage	19
3.3.1 Choix des blindages	19
3.3.2 Mise en œuvre des câbles	23
4. TESTS D'IMMUNITÉ CEM DES COMPOSANTS OU ÉQUIPEMENTS ET MESURES D'ATTÉNUATION DES ENVELOPPES CEM	30
5. RÈGLES DE CONCEPTION VIS-À-VIS DES EFFETS RADIATIFS SUR LES COMPOSANTS ELECTRONIQUES ET INFORMATIQUES	32

1. INTRODUCTION DU DOCUMENT

1.1 *Objet*

Ce document présente les règles de conception et les essais applicables aux équipements du Hall d'Expérience du LMJ, permettant d'obtenir le niveau de durcissement nécessaire des matériels vis-à-vis des différents phénomènes induits par les tirs laser de l'installation LMJ/PETAL et qui se traduisent par :

- des ambiances électromagnétiques conduites et rayonnées (effets EMP et SGEMP) appliquées aux boîtiers, aux interfaces et aux cartes électroniques des matériels, ambiances notées EM dans la suite du texte, conduisant à des règles « REM »,
- des ambiances radiatives (photons et neutrons : effets TREE) auxquelles sont directement soumises les fonctions électroniques de ces matériels, conduisant à des règles « RET ».

Ce document est de niveau supérieur au document MOS00775E et est compatible des RET et REM qui y sont mentionnées et qui restent applicables.

1.2 *Domaine d'application*

Ce document s'applique à l'ensemble des équipements du LMJ. Tous les marchés relatifs à la conception et au câblage d'équipements situés dans l'installation LMJ sont concernés.

Sans précision particulière, les REM mentionnées dans ce document sont applicables à l'intérieur et à l'extérieur des enveloppes et zones « CEM » ou « non CEM ».

Les règles de continuité électrique sont applicables à toutes les zones.

1.3 *Documents applicables et de référence*

N°	Référence	Acronyme – Titre du document	A/R
1	MOS00775 E	Règles de conception vis-à-vis des ambiances TREE et SGEMP	A
2	MOS22028 B	Règles de conception et de câblage des composants et enveloppes du LMJ	R
3	MOS22478 A	Aide à l'analyse de vulnérabilité des équipements LMJ dans l'environnement électromagnétique PETAL	R
4	20IA0004 A	Dimensionnement de l'agression	R
5	20IA0001 B	Tenue au flux des polymères	A

1.4 Terminologie applicable

- **CE** : Sigle de certification de la Communauté Européenne
- **CEM** : Compatibilité Electromagnétique. Ce terme est employé dans le texte pour désigner des composants ou des enveloppes qui doivent respecter des exigences de continuité électrique, ainsi que d'immunité, d'émissivité et d'atténuation en champ électromagnétique.
- **Zone CE** : zone définie par l'enceinte de la Chambre d'Expérience (surface externe et son contenu), incluant l'intérieur des équipements accrochés à la Chambre d'Expérience et ouverts vers celle-ci.
- **Zone SE** : zone définie par la Salle d'Expérience, depuis un équipement accroché à la Chambre d'Expérience jusqu'au mur Phi 33.
- **Zone HE – HSB** : zone du Hall d'Expérience définie entre le mur phi 33 et le mur de 2 mètres d'épaisseur de la croix d'Aquitaine, Hors Salles de Baie.
- **Zone HE – SB** : zone du Hall d'Expérience définie par les Salles de Baies mentionnées sur les plans bâtiments.
- **Zone HE – Hors croix d'Aquitaine** : zone définie par la partie du Hall d'Expérience qui s'étend au-delà du mur de deux mètres d'épaisseur de la croix d'Aquitaine, par l'intermédiaire des ouvertures techniques et de circulations jusqu'à la limite des locaux définis par le plan «Salles d'Expérience » zones « G-H » ref : LMJ40130 H62 2 PG 41 10 1201 à 1203.
- **Zone HE** : zone englobant les zones « HE – HSB », « HE – SB » et « HE – Hors croix d'Aquitaine ».
- **Zone HL** : zone des Hall Laser.
- **Casemate Faradisée** : Local spécifique, protégé par une faradisation, réservé aux diagnostics ou composants dont la proximité à la CE est indispensable. Dans ce type de local, les composants et équipements présentent une protection CEM en champ électromagnétique de niveau industriel.
- **Casemate non Faradisée** : Local spécifique, sans protection CEM particulière, réservé aux diagnostics ou composants dont la proximité à la CE est indispensable. Les composants et équipements qui s'y trouvent doivent présenter une forte protection CEM vis-à-vis des champs électromagnétiques.
- **Enceinte Faradisée** : Salle, cage ou tout type de local ayant été réalisé dans le respect des règles de l'art de la CEM pour permettre de protéger les composants et équipements à un niveau d'atténuation minimum et à une fréquence maximum définis par les besoins de l'expérience.
- **Enveloppe** : Contenant métallique des composants et/ou équipements, de type CEM ou Non-CEM. Les enveloppes de type CEM présentent un niveau minimum d'atténuation en champ électromagnétique adapté à la zone d'utilisation. Pour quelques cas spécifiques, une enveloppe CEM peut être réalisée par la Faradisation intrinsèque d'un composant ou d'un équipement (ex : équipement dans la CE)
- **Composant** : Désigne tous les constituants les plus élémentaires des équipements du LMJ, du câblage, des enveloppes CEM et de la structure du réseau de masses maillées du bâtiment.
- **Équipement** : Association de deux ou plus composants.
- **Appareil industriel** : Equipement ou composant standard obtenu auprès d'un fournisseur ou d'un industriel. L'appareil possède la certification CEM en immunité et émissivité de niveau industriel conforme respectivement aux niveaux requis par les normes NF-EN-61000-6-2 et NF-EN-61000-6-4. L'appareil a obtenu la certification **CE** en CEM, au sens de la directive européenne 2014/30/UE.
- **Appareil spécifique** : Equipement ou composant standard modifié ou entièrement conçu spécifiquement pour les besoins de l'expérience. L'appareil est destiné à un organisme scientifique, de ce fait sa certification **CE** en CEM n'est pas requise. Néanmoins la conception est faite dans le respect de l'immunité et de l'émissivité de niveau industriel mentionnés respectivement par les normes NF-EN-61000-6-2 et NF-EN-61000-6-4. MISE EN GARDE : la certification **CE** en **sécurité** reste obligatoire.
- **REM-xxx** : Règle de conception pour la CEM n° xxx applicable à tous les équipements du LMJ.
- **RET-xxx** : Règle de conception pour la protection des effets TREE n° xxx applicable à tous les équipements du LMJ.
- **TREE** : Transient Radiation Effect on Electronic.
- **EMP** : Electro-Magnetic Pulse (ou IEM en français)
- **SGEMP** : System Generated Electro-Magnetic Pulse (EMP générée par les effets radiatifs sur les systèmes)
- **BMM** : bornes de mise à la masse disponibles sur les murs bâtiments et interconnectées à la structure ferrailée conductrice du bâtiment LMJ.
- **Liaison plane** : Liaison de mise à la masse entre deux composants métalliques. La liaison est plate en tresse ou clinquant compatible « zone de propreté ».
- **TRP** : Tôle de Référence de Potentiel, ce peut être une quelconque masse métallique de composant ou d'enveloppe.
- **Kr** : taux de recouvrement au sens de la norme **NFC 32-050** « conducteurs et câbles comportant un revêtement métallique ».

2. DÉMARCHE POUR OBTENIR L'IMMUNITÉ AUX AMBIANCES EM ET RADIATIVES DE L'INSTALLATION

Dans le développement des équipements, le titulaire fera la démarche suivante pour obtenir l'immunité de son équipement aux ambiances EM et radiatives de l'installation LMJ/PETAL.

Étape 1 : Une analyse de « Durcissement Système » de l'équipement identifie les composants sensibles et les niveaux auxquels ils seront soumis. Une pré-étude dite « bibliographique » pourra permettre de trier les problèmes et de faire des pré-choix.

Étape 2 : Pour les composants présentant une incertitude en première étape, soit des tests de vulnérabilité seront menés avec l'aide du CEA pour les ambiances EM et radiatives spécifiques liées au LMJ, soit le titulaire devra identifier les règles de conception à prendre en compte sur l'équipement pour protéger les composants sensibles. L'application des règles de conception édictées dans les paragraphes suivants lui permettra d'atteindre les objectifs d'immunité.

Étape 3 : le titulaire fera les essais CEM génériques sur l'équipement.

A chaque jalon du marché, le titulaire présente la planification des essais qui seront réalisés d'ici le jalon suivant.

Le planning des essais intègre :

- Les tests de CEM dont il a la charge,
- Les tests spécifiques, à la charge du CEA, de tenue des composants à l'ambiance EM et radiative générée lors des tirs.

3. RÈGLES DE CONCEPTION CEM ET DE CABLÂGE DES COMPOSANTS, ÉQUIPEMENTS ET ENVELOPPES

Ce paragraphe présente toutes les règles applicables des plus petits composants jusqu'aux équipements et enveloppes.

3.1 Règles générales

REM-100 - Immunité et émissivité des appareils

Les appareils obtenus auprès d'un fournisseur, dits de type « standard industriel », possèdent la certification CEM en immunité et émissivité de niveau industriel conforme respectivement aux niveaux requis par les normes NF-EN-61000-6-2 et NF-EN-61000-6-4. Ils possèdent également la certification **CE** en CEM au sens de la directive européenne 2014/30/UE.

Les niveaux d'immunité et d'émissivité des composants fonctionnels spécifiques, donc non industriels, correspondent également aux exigences des normes NF-EN-61000-6-2 et NF-EN-61000-6-4.

REM-101 - Composants standards industriels - boîtiers métalliques en conception close – renforcement de faradisation locale

Les composants de fourniture « standard industriel » doivent posséder un niveau d'atténuation CEM en modes conduit et rayonné requis pour leur zone d'utilisation (cf. § 3.2). Ils sont donc retenus en priorité parmi ceux présentant des enveloppes métalliques qu'il est possible d'améliorer en atténuation CEM.

On retiendra les critères suivants :

- Boîtiers métalliques ; les boîtiers en matériaux isolant sont proscrits,
- Boîtiers de nature rigide (ex : modèle moulé dans la masse, allégé par des nervures de renfort, etc.) ; les boîtiers en tôle fine sont proscrits,
- Surfaces en contact sont suffisamment larges pour accueillir un joint CEM
- Sorties optiques les plus petites possibles avec possibilité de montage de tube « guide coupure d'onde »,
- Accessibilité du câblage pour montage de filtres CEM HF 1GHz, niveau d'atténuation adapté à la zone d'utilisation,
- Fixation de capot par vis au pas maximum de 2,5 cm en l'absence de joint CEM.

REM-102 - Composants standards industriels – renforcement par une enveloppe CEM – tests de validation

Les composants de niveau d'atténuation « standard industriel » non modifiables sont « enfermés » dans une enveloppe CEM qui apporte le niveau d'atténuation CEM en modes conduit et rayonné requis pour la zone d'utilisation (cf. § 3.2).

Ce peut être, par exemple, une baie CEM pour les composants installés en salles de baies, mais également des boîtiers de tailles adaptées au strict minimum pour les composants installés en zones SE ou CE. Les enveloppes fournies par le titulaires doivent être qualifiées par des tests de validation (cf. paragraphe 4)

REM-103 - Renforcement de faradisation des composants en zone CE

En CE, les contraintes de dimensions et de poids (ex : sur les inserteurs) rendront très difficile, parfois impossible, la mise en place d'une enveloppe CEM supplémentaire enrobant le composant.

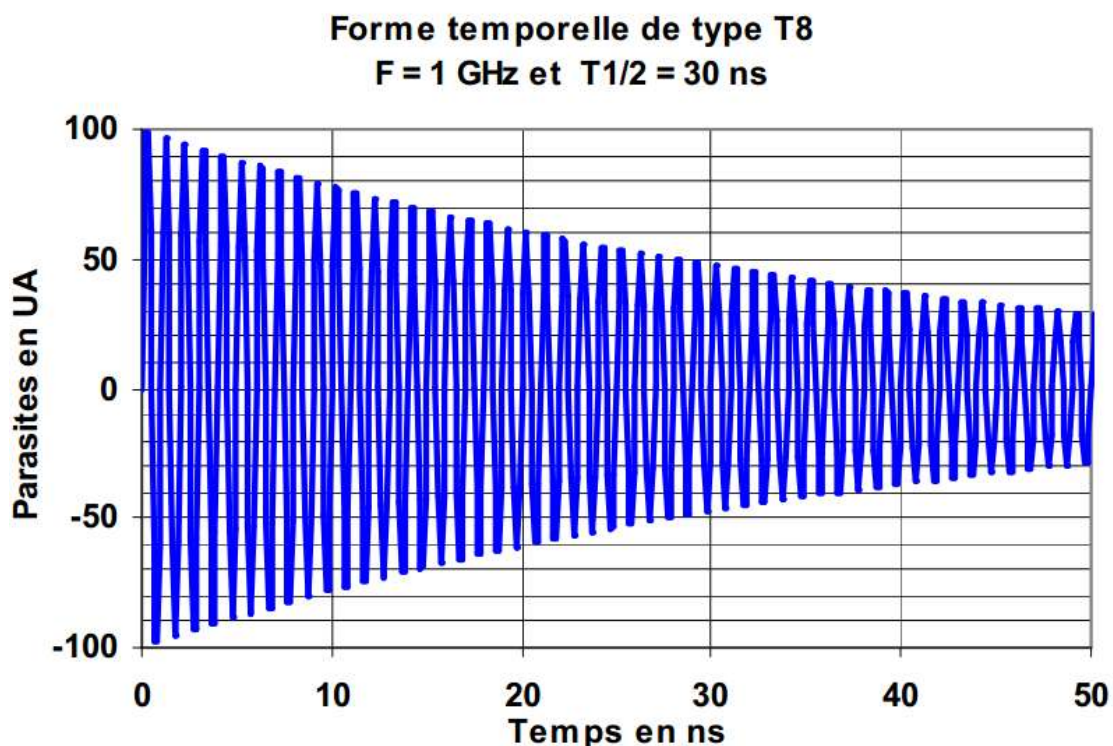
De ce fait, en zone CE les composants sont en priorité « intrinsèquement modifiés » pour la tenue des effets conduits et rayonnés.

Des filtres CEM HF sont placés sur les lignes « cuivrées ou conductrices » pour la protection des perturbations en mode conduit.

REM-104 - Conception des composants – immunité spécifique.

Les composants et équipements électroniques ou informatiques placés en zones CE, SE, HE, « salles ou casemates non Faradisées » supportent par conception sans dégradation un signal perturbateur de +/- 15 Volts (tension crête première période) de forme T8.

Si ce n'est pas le cas, des filtres passifs sont requis. Les filtres sont placés en peau d'enveloppe CEM évitant la communication entre l'extérieur perturbé et l'intérieur protégé de l'enveloppe. Les filtres ne doivent pas dégrader le signal utile pour le fonctionnement nominal et des tests de validation fonctionnelle sont requis.



REM-105 - Filtres pour composants assurant les fonctions de sécurité

Les composants assurant des fonctions de sécurité sont tous protégés contre les perturbations en mode conduit par des filtres passifs conformes à la REM précédente. Les niveaux et formes de perturbations sont ceux indiqués pour les composants fonctionnels en zones CE, SE, HE, « salles ou casemates non faradisées ».

La présence des filtres ne doit pas altérer les fonctions de sécurité.

REM-106 - Composants de sécurité – Contacts secs en zones CE, SE et HE-HSB

Les contacts secs et systèmes sans électroniques et/ou « non protocolés » sont obligatoires pour les réseaux et composants relatifs à la sécurité en zones CE, SE et HE-HSB.

Les composants ou systèmes de sécurité ne répondant pas à cette REM font l'objet d'une demande de dérogation accompagnée d'une justification formelle et impérative.

REM-107 - Conditions des mesures de continuité électrique

Tous les points de contacts entre éléments en matériaux conducteurs sont mesurés avec un micro-Ohmètre. La mesure est du type 2 points d'injections plus 2 points de mesures, effectuée sous une intensité minimum débitée de 1 A, la précision de résultat ne dépasse pas +/- 0,15 %.

REM-108 - Résistance de contact maximale : 1 à 3 milli-Ohm

Sans précision particulière donnée par une REM, tous les points de contacts entre éléments en matériaux conducteurs mentionnés dans ce document respectent une résistance de contact entre éléments $\leq 1 \text{ m}\Omega$ en zones CE et SE et $\leq 3 \text{ m}\Omega$ pour les autres zones.

Cette REM est applicable aussi bien à tous les éléments électriques (connecteurs, actionneurs, capteurs, etc.) qu'aux composants de structure mécanique (châssis des baies, montants 19", etc.) mis en conduction entre eux. Il faut donc veiller aux choix des matériaux et au mode de mise en conduction électrique aux points de fixations.

REM-109 - Visserie conductrice

Les équipements sont constitués de montages mécaniques électriquement conducteurs, l'emploi de visserie (boulon, rondelle, vis, insert, etc.) nickelée ou de performance équivalente est requise.

REM-110 - Surfaces conductrices

Les surfaces mécaniques en appui sont rendues conductrices, a minima localement aux points de contacts électriques, par un revêtement protecteur adapté, ex : Surtec 650 sur l'aluminium, Traitement bi-chromaté, nickelage sur acier, etc.

Le traitement des états de surfaces est effectué à la conception. En cas d'ébavurage ultérieur, parfois manuel, la protection est rétablie par un traitement de surfaces adapté au matériau.

REM-111 - Liaisons planes « non selfiques »

Une liaison plane « non selfique » a un rapport Longueur/largeur inférieur à 5 entre ses deux points de fixations. Toutes les liaisons de raccordement à la masse doivent respecter ce critère.

REM-112 - Liaisons planes pour éléments mobiles ou de grandes dimensions

La conception oblige, dans certains cas, d'assurer entre deux pièces une mobilité ou une fixation par exemple type « trait- point- plan », « charnière », etc. La continuité électrique $\leq 1 \text{ m}\Omega$ ou $\leq 3 \text{ m}\Omega$ est dans ce cas difficile à respecter.

Pour ces cas, des liaisons planes d'interconnexions complémentaires de 2 cm minimum de large, compatible propreté, sont requises. Les points d'accrochage de ces liaisons respectent la REM-108108. Leur longueur est au plus court de la faisabilité.

Un minimum d'une liaison plane est requis pour tous les composants mobiles concernés.

- leur quantité est maximisée aux limites de la faisabilité, sur la base d'une liaison plane « non selfique » tous les 20 cm, pour les composants en zone CE.
- un minimum d'une liaison plane tous les mètres est requise en zone SE,
- un minimum d'une liaison plane tous les deux mètres est requise en zone HE.
- un minimum d'une liaison plane tous les 10 mètres maximum est requise dans toutes les autres zones, avec un minimum de deux liaisons également réparties pour les composants placés dans des locaux d'une surface $> 20 \text{ m}^2$.
- Une liaison minimum pour les composants placés dans des locaux d'une surface $\leq 20 \text{ m}^2$.

Des liaisons en cuivre étamé par tresses ou clinquants sont requises.

REM-113 - Type de mise à la masse par liaisons planes au réseau de masses maillées

Les équipements et enveloppes sont mis à la masse par des liaisons planes de 2 cm de large et 1,5 mm d'épaisseur minimum, cette section peut être modifiée dans le même rapport afin de respecter une résistance de 5 mΩ maximum entre l'équipement et le réseau de masses maillées. Une multiplication et parallélisations des liaisons de plus forte impédance peut convenir, dans le respect de 5 mΩ maximum global.

Un minimum de deux liaisons est requis pour chaque équipement ou enveloppe, avec un pas maximum d'une liaison tous les deux mètres.

La longueur entre points de fixation doit toujours être au plus court de la faisabilité et ne doit pas dépasser 2 mètres, avec une longueur objective de 50 cm.

Les points de mise à la masse disponibles sont les BMM, structures métalliques des caillebotis de la zone SE, trolley d'accompagnement des chemins de câbles, ou tout autre équipement déjà électriquement raccordé au réseau de masses maillées dans le respect des exigences de CEM de ce document.

REM-114 - Mise à la masse en CEM par « assemblages mécaniques » d'éléments électriquement conducteurs

Dans certains cas les composants sont mécaniquement et électriquement accrochés à des structures fortement conductrices, elles-mêmes déjà interconnectées au réseau de masses maillées (ex : équipement mécaniquement et électriquement fixé sur la Chambre d'Expérience, etc.)

Pour ces cas particuliers, après validation par la mesure de continuité et le respect de la REM-108 entre les composants et le réseau de masses maillées, il est possible de ne pas respecter la REM-11111.

REM-115 - Mise à la masse des racks dans les enveloppes

La mise à la masse des composants (racks, automates, appareil de mesures, etc.) dans les enveloppes s'effectue au moyen des méthodes suivantes :

- 1- En priorité les liaisons de fixations mécaniques sont utilisées. Du fait qu'il est fréquent de rencontrer des racks ou appareil recouvert d'une protection isolante, pour éviter un ébavurage difficile des parties isolantes, il est demandé d'utiliser des vis conductrices en acier 8.8 bichromaté ou nickelé de diamètre M6 serrées au couple entre 6 et 11 m.N, le couple est défini avec exactitude par une mesure respectant la REM-108 entre le métal du rack et le métal de l'enveloppe. L'usage de rondelle type ressort à 6 picots est impératif (voir modèle ci-après) ; **tout autre type de rondelle est proscrit**, dans le cas de montants isolants.

Rondelle **M6** acier ressort à 6 picots (à positionner contre le rack) :



- 2- En cas d'installation de composants ou d'équipements dans des « enveloppes d'origine CEA » présentant des montants peints, le CEA fournit les écrous à griffes et rondelles à 6 picots assurant la conduction électrique avec les montants peints (voir ci-après).

Ecrou cage à griffes :



- 3- En cas d'impossibilité de la méthode précédente (ex : conduction des éléments internes ne respectant pas la REM-108, etc.), une liaison plane « non selfique » (cf. REM-111) est établie entre le rack et le plus proche point d'accrochage de mise à la masse de l'enveloppe CEM. L'emploi de vis nickelées auto-forieuses est requis pour la fixation sur les montants peints ou à surfaces isolantes.

REM-116 - Composants en inox et dérivés proscrits

L'emploi d'acier inoxydable et ses dérivés est **proscrit** pour les éléments assurant une continuité électrique. L'aluminium à surface traitée Surtec 650 et l'acier nickelé ou bichromaté sont requis.

REM-117 - Maintenance curative et préventive

Les opérations suivent les recommandations indiquées §8 de la norme NF EN 50174-1

Le titulaire présente au minimum et sous forme de fiche :

- les opérations de maintenances curatives et préventives,
- les types de contrôle (ex : mesure de résistance entre masse, tests diélectrique, tests de résistances d'isolement, tests NF-EN-61000-4-4, etc.)
- les points de contrôle,
- les moyens de contrôle,
- la périodicité des contrôles selon la nature et la zone des équipements.

Les éventuels contrôles « pour la protection des personnes » qui peuvent être exigés dans les documents contractuels ne sont pas compris dans cette REM.

Les règles ci-dessous permettent d'améliorer l'immunité d'un système. Lorsqu'elles sont mises en œuvre, elles peuvent donner lieu à des dérogations sur d'autres REM, notamment de câblage.

REM-118 - Mise hors tension des composants sensibles (mise hors tension).

Dans la mesure du possible, les composants sensibles comportant des éléments électroniques et informatiques sont mis en position « Hors tension » avant les tirs spécifiques LMJ ou Picosecondes émettant les plus forts niveaux de perturbation.

La mise hors tension est effectuée 3 minutes avant le tir plus le temps d'arrêt complet des composants (ex : cas des pompes à vide qui rejettent par inertie de l'énergie sur l'électronique de commande pendant l'arrêt, etc.).

Les organes de mise hors tension sont de type électromécanique sans présence d'électronique.

REM-119 - Redondance des lectures (durcissement logiciel).

Dans la mesure du possible, les informations provenant d'une zone exposée aux perturbations CEM seront lues 2 fois à quelques microsecondes d'intervalle avant d'être prises en compte.

3.2 Règles pour les enveloppes

3.2.1 Atténuations des enveloppes

Pour toutes les exigences d'atténuation en champ Electrique des enveloppes CEM ci-dessous, les **valeurs requises** dans ce document s'entendent pour des **enveloppes câblées**. Par rapport à une enveloppe non câblée, une perte de 10dB induite par les raccordements et câblages doit être considérée.

REM-200 - Niveau d'atténuation en champ Electrique zone CE

Les enveloppes de protection CEM câblées utilisées pour la protection ou la constitution intrinsèque des composants électroniques assurent l'atténuation en champ Electrique minimale suivante :

- A moins de 40 cm du centre chambre : 90dB de 30 Mhz à 3 GHz
- Entre 40 cm et 4m par rapport au centre chambre : 80dB de 30 Mhz à 3 GHz
- A plus de 4 m du centre chambre : 70dB de 30 Mhz à 3 GHz

Pour les composants électriques ne comportant pas d'électronique, l'atténuation pourra être 20 dB plus faible.

REM-201 - Niveau d'atténuation en champ Electrique zone SE

Les enveloppes de protection CEM câblées utilisées pour la protection ou la constitution intrinsèque des composants électroniques assurent l'atténuation en champ Electrique minimale suivante :

- 50dB de 30 MHz à 3 Ghz

Pour les composants électriques ne comportant pas d'électronique, l'atténuation pourra être 20 dB plus faible.

Cette REM pourra faire l'objet de dérogation (pour notamment accepter un niveau d'atténuation plus faible) en fonction de la localisation de l'enveloppe de protection CEM dans la SE et du niveau de champ électrique qui y est évalué.

REM-202 - Niveau d'atténuation en champ Electrique zone HE-HSB ou casemates non faradisées

Les enveloppes de protection CEM câblées, utilisées pour la protection ou la constitution intrinsèque des composants électroniques assurent l'atténuation en champ Electrique minimale suivante :

- 30dB de 30 MHz à 300 MHz
- 20dB de 300 Mhz à 3 GHz

REM-203 - Niveau d'atténuation en champ Electrique zone HE-SB, HE hors croix d'Aquitaine et HL à moins de 10m des cellules de Pockels et Amplificateurs

Les enveloppes de protection CEM câblées, utilisées pour la protection ou la constitution intrinsèque des composants électroniques assurent l'atténuation en champ Electrique minimale suivante :

- 20dB de 30 MHz à 300 MHz
- 10dB de 300 Mhz à 3 GHz

REM-204 - Composants de sécurité – Protection renforcée de 10dB

Tous les composants électroniques et/ou informatiques, assurant des fonctions pour la sécurité des personnes, sont protégés par des enveloppes CEM ou présentent une constitution intrinsèque dont l'atténuation en champ E sera de 10dB supérieure aux niveaux requis pour les composants fonctionnels selon les zones d'utilisation CE, SE, HE-HSB, HE-SB.

REM-205 - Modification d'enveloppe CEM de fourniture CEA

En cas de modifications d'enveloppes CEM fournies par le CEA, par exemple pour une augmentation de puissance et/ou une augmentation de ventilation, les modifications respectent les niveaux d'atténuations garantis par les baies fournies par le CEA.

Les nouveaux filtres d'alimentation de type « traversant » et/ou nouvelles grilles « nid d'abeille » et leur mise en œuvre sont cohérents des atténuations requises.

3.2.2 Traitement des ouvertures et de la connectique

REM-250 - Fermetures CEM des ouvertures en réserves

Les ouvertures d'enveloppes CEM laissées en réserves sont fermées par des bouchons ou plaques métalliques vissés sans fuites CEM.

Des joints CEM peuvent être requis si les surfaces en contacts ne sont pas parfaitement jointives sur l'intégralité de la circonférence : critère de vérification de jonction « une bande métallique en acier de 2 mm de large et de 0,05mm d'épaisseur ne doit pas pouvoir pénétrer l'inter-surfaces ».

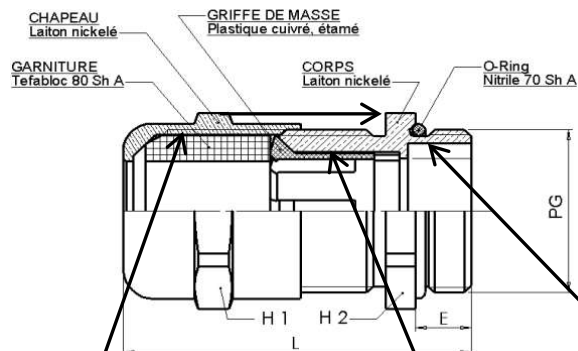
REM-251 - Fermetures CEM des presses étoupes en réserves

Les presses étoupes peuvent être laissés libres sans câble sous réserve qu'ils assurent la fonction de « guide coupure d'onde ».

Dans le cas contraire, l'ouverture est fermée conformément à la REM-250.

La démonstration de « guide coupure d'onde » doit être faite par le calcul en retenant les dimensions internes (l_1 & d_1 ; l_2 & d_2 ; l_3 & d_3 ; etc.) de chaque type de presse étoupe (voir REM-255), l'atténuation résultante à 1 GHz « $dB1 + dB2 + dB3 + \text{etc.}$ » doit être supérieure ou égale à l'atténuation requise par le lieu d'utilisation.

Ci-dessous exemple d'un presse étoupe à griffes



diamètre 1
longueur 1
Complètement vissé => l_1 au plus court

diamètre 2
longueur 2

diamètre 3
longueur 3

u CEA re sans son autorisation

REM-252 - Traversées connectorisées

Les traversées d'enveloppes CEM sont réalisées par des traversées connectorisées à minima en externe. La reprise à 360° et la continuité du blindage est assurée dans l'enveloppe CEM jusqu'au point d'utilisation (ex : automate, relais, etc.).

L'utilisation de presse étoupe est possible pour les enveloppes d'immunité inférieure à 60 dB. Néanmoins leur qualité CEM devra être montrée et vérifiée.

REM-253 - Connecteurs obligatoires pour les enveloppes d'immunité supérieure à 60 dB – presse étoupe proscrit

Pour les enveloppes d'immunité supérieure à 60 dB, toutes les interfaces, au droit des diverses traversées (ex : sur les composants, sur enveloppe, passage vide/air, sur entrées de « salles ou casemates Faradisées »), s'effectuent par connecteurs et traversées connectorisées.

L'usage de presses étoupes, y compris de type CEM, est **proscrit**.

REM-254 - Fibres optiques – composants conducteurs proscrits

Les fibres optiques ne possèdent pas de composant conducteur.

En zones HE, SE et CE, elles sont, de plus, non dopées au phosphore.

REM-255 - Passages optiques – Guides coupure d'onde

Les traversées optiques d'enveloppes CEM utilisent des tubes « guides coupure d'onde » dont l'atténuation est calculée par la formule suivante :

$$A(dB) = 54,6 L \sqrt{\frac{1}{\lambda_c^2} - \frac{1}{\lambda^2}} + 20 \log \left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right) - 4$$

λ_c est la longueur d'onde de coupure, en mètres;

λ_c est égal à 1,7 d (d : diamètre d'un guide d'ondes circulaire, en mètres);

λ_c est égal à 2 a (a : côté le plus large, en mètres, d'un guide d'ondes rectangulaire);

λ est la longueur d'ondes, en mètres, de la fréquence considérée, $\lambda > \lambda_c$;

L est la longueur du guide d'ondes, en mètres.

Cette formule n'est valable que pour $\lambda > \lambda_c$; sinon l'atténuation est nulle.

Le niveau d'atténuation minimum requis à 3 GHz est précisé selon la zone d'utilisation de l'équipement ou de l'enveloppe CEM (cf. paragraphe 3.2.1).

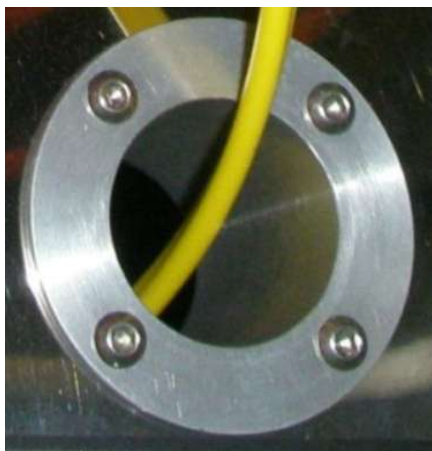
Les petits diamètres sont privilégiés pour minimiser la longueur du tube et la longueur d'onde de coupure.

Un tube guide coupure d'onde ne doit pas être traversé par un élément métallique (câble, fibre métallisée, etc.)

Un tube guide coupure d'onde est repris à 360° sur la peau de l'enveloppe CEM, sa constitution peut être par exemple :

- Un tube métallique soudé ou mécaniquement assemblé sans fuites CEM sur l'enveloppe,

- Un connecteur métallique enrobant le connecteur optique, le calcul du guide coupure d'onde s'effectue en associant tous les éléments non traversés par un élément conducteur,



Tube vissé



Association de 4 tubes « guides coupure d'onde »

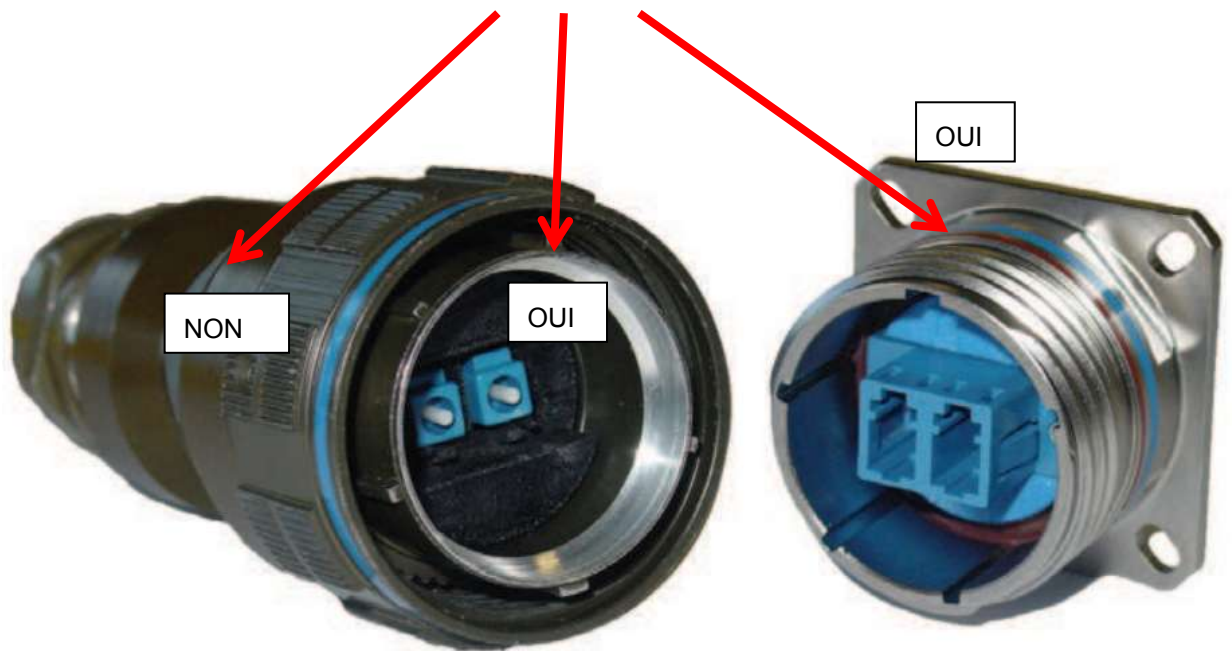


Pratique en maintenance : ce tube se démonte pour passer les fibres à connecteur optique pré-câblé d'un diamètre supérieur au tube.



OUI avec joint CEM

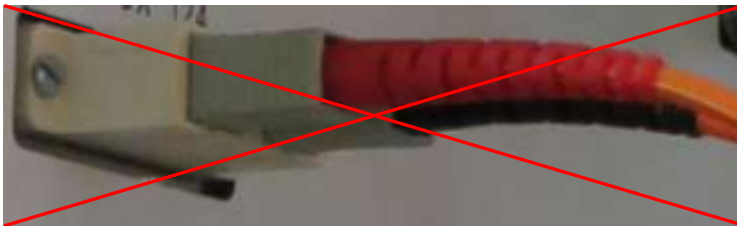
Le corps métallique doit respecter l'exigence minimum d'atténuation CEM

Corps métalliques obligatoirement nickelé, pas de vert-olive

Ce connecteur optique en version entièrement métallique nickelé (pas de vert-olive ni d'éléments isolants) peut convenir pour assurer un effet « guide coupure d'onde ». Le calcul d'atténuation est effectué par association du corps métallique de la fiche et du corps de l'embase, les dimensions internes de diamètres et longueurs (l_1 & d_1 ; l_2 & d_2 ; l_3 & d_3 ; etc.) fournissent la valeur d'atténuation à 1 GHz.

Le choix du connecteur retenu est adapté au niveau CEM de l'enveloppe, selon la zone d'utilisation.

Si l'atténuation s'avère insuffisante, une version avec une deuxième « coquille » raccordée en interne sur l'embase augmente l'atténuation qui devrait être suffisante dans de nombreux cas.

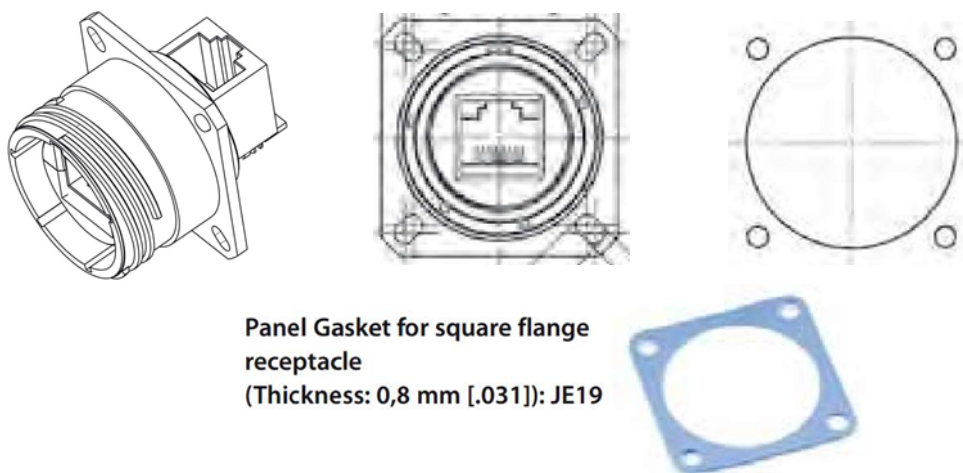


Proscrit – le corps du connecteur optique est en matériaux isolants, ce connecteur ne respecte pas la fonction « guide coupure d'onde », la tôle support de connecteur présente une grande ouverture qui annule toute performance d'atténuation CEM de l'enveloppe.

REM-256 - Embases vissées équipées de joints CEM

Les embases de connecteurs optiques ou électriques sont de type « vissé », un joint conducteur assure l'étanchéité CEM sur la plaque supportrice.

Les embases de type « circulaire » sont proscrites pour les connecteurs de dimensions supérieures à 3 cm.

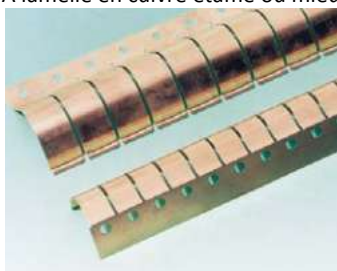


REM-257 - Joints CEM montés selon les recommandations du fabricant

Les enveloppes CEM possèdent des fermetures closes adaptées aux performances d'atténuation en champ Electrique selon la zone d'utilisation.

L'emploi de joints à atténuation CEM est requis. Ces joints peuvent être de types suivants :

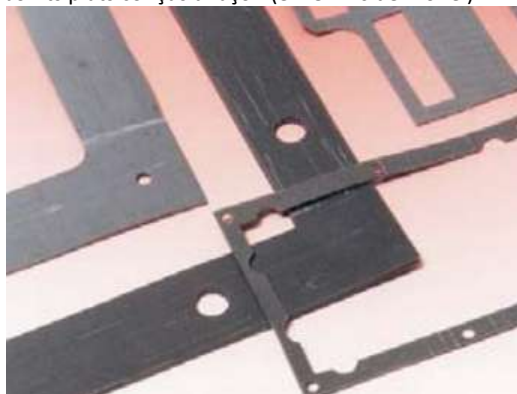
- A lamelle en cuivre étamé ou mieux CuBe



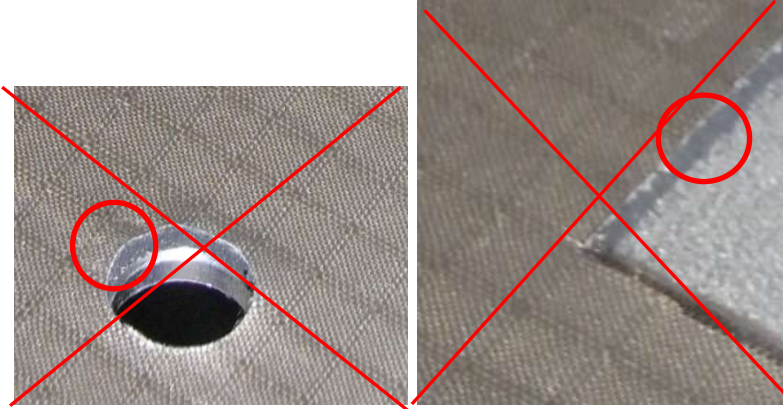
- Joints vide ou élastomère recouverts d'un tissu ou d'une tresse CEM



- Joints plats conçus à façon (ex : en fils de monel)



Les joints sont uniquement de fourniture « Spécialiste en CEM » et montés selon les recommandations du fabricant (ex : respect des espaces de mise en pression).



Montage proscrit : l'installateur a découpé le joint plat CEM sans reprendre les jonctions des deux surfaces conductrices. Le joint a perdu ses fonctions de continuité électrique et d'atténuation CEM

REM-258 - Percement enveloppe CEM - Organes de commande et de signalisation

Les enveloppes CEM ne doivent pas être percées sans justification majeure et indispensable. Uniquement sur demande de dérogation, en cas de percement, le titulaire assure la conservation de l'atténuation CEM requise au lieu d'utilisation :

- Les commandes respectent la fermeture CEM close (cf. la difficile prise en considération de fermeture CEM d'organes en mouvements)
- Les informations lumineuses sont transmises par renvois optiques en PVC transparent au travers de tubes « guides coupure d'onde »,
- Les capteurs de fumées pour la détection d'incendie sont réalisés par des captures d'aspiration au travers de guide coupure d'onde,
- Les afficheurs sont équipés de grille CEM translucide. Ces grilles sont difficiles à mettre en œuvre, un niveau d'atténuation élevé diminue fortement le niveau de visibilité. Il est demandé de privilégier l'absence de ce type d'information.

REM-259 - Ventilation naturelle – Grille nid d'abeilles

En cas de ventilation sur enveloppe CEM, les ouvertures sont équipées de grilles type « nid d'abeilles » d'atténuation adaptée à la zone d'utilisation ; la protection en champ électrique est demandée « équivalente » dans les deux polarisations Horizontale et Verticale (cf. les produits spécifiques répondant à cette exigence).

REM-260 - Ventilation forcée

En cas de ventilation forcée, le ventilateur est monté à l'intérieur, son alimentation est issue du « secteur filtré HF ».

REM-261 - Filtre d'alimentation HF

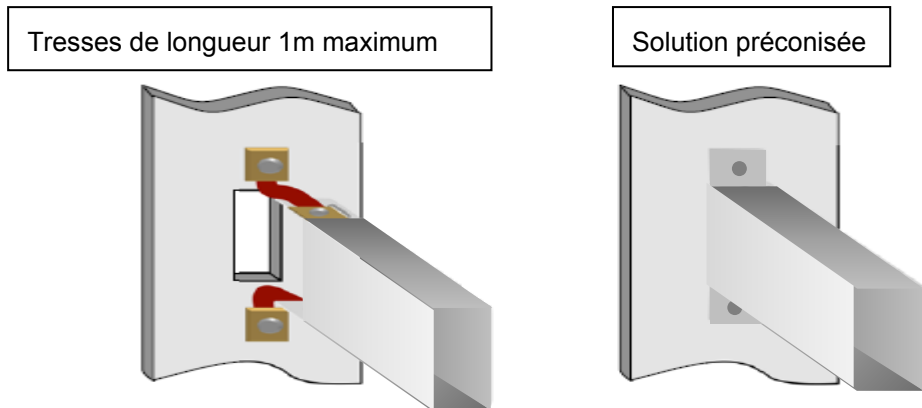
Toutes les enveloppes CEM présentent un filtre d'alimentation secteur Haute Fréquence adapté au niveau d'atténuation de la zone d'utilisation. Il s'agira de filtres passe-bas avec une fréquence de coupure de 1 MHz maximum.

Le disjoncteur dans le tableau de distribution devra tenir compte du filtre (courants de fuite notamment).

REM-262 - Raccordement des chemins de câbles

Dans le LMJ tous les câbles doivent cheminer dans des chemins de câbles. Afin de permettre leur raccordement, chaque enveloppe prévoira un système de raccordement par pièce métallique préformée.

Un raccordement par 2 tresses courtes pourra être toléré en respectant la REM-113. De plus, la longueur d'interruption du chemin de câbles sera alors d'1 m maximum (cf. justification en annexe).

**REM-263 - Tôle de Référence de Potentiel**

Les enveloppes, contenant des composants actifs, possèdent en entrée une TRP reliée aux tresses des câbles et parois.

La TRP, placée à 15cm maximum de l'entrée d'enveloppe, est raccordée à la masse conductrice en plusieurs points, au minimum 4 et selon le cas sur la paroi accueillant des câbles blindés

3.3 Règles de câblage

3.3.1 Choix des blindages

REM-300 - Taux de recouvrement Kr

Le taux de recouvrement Kr minimum requis est de 80% pour chaque tresse de blindage.

Dans le cas d'un câble possédant plusieurs blindages, cette exigence concerne chacun des blindages pris unitairement et non pas le blindage global.

Ce taux de recouvrement Kr (ou facteur de recouvrement Kr) est issu de la norme en référence NF C 32-050. La formule ci-après est rendu applicable, quelques que soient les évolutions de norme(s).

VÉRIFICATION DU FACTEUR DE RECOUVREMENT DES TRESSSES

Le facteur de recouvrement K_r , est calculé par la formule :

$$K_r = \frac{m \cdot n \cdot d}{2 \pi D} \sqrt{1 + \frac{\pi^2 D^2}{L^2}}$$

où :

- D = diamètre moyen de la tresse (diamètre moyen mesuré sous tresse + 2 fois le diamètre ou l'épaisseur des fils),
- d = diamètre nominal des brins de la tresse ou largeur nominale des fils méplats,
- L = pas de la tresse,
- m = nombre total de fuseaux,
- n = nombre de brins par fuseau.

REM-301 - Câbles non blindés proscrits en zones HE, SE et CE.

Les câbles non blindés sont **proscrits** en zones HE, SE et CE. Il se peut que quelques câbles issus des zones externes arrivent en salles de baies ; des coffrets intermédiaires ou autres moyens sont mis en place pour qu'aucun câble non blindé ne pénètre dans ces zones.

REM-302 - Câbles en zone CE

Tous les câbles en zone CE présentent une impédance de transfert maximale :

- de 5 mΩ /m pour un signal continu,
- de 1 mΩ /m à 10 MHz,
- de 30 mΩ /m pour les fréquences jusqu'à 1GHz,

ou **2 blindages dont les K_r sont supérieurs à 95 %.**

Dans le cas où ces performances ne pourraient être démontrées, les 2 blindages seront recouverts d'un surblindage de type Roundit 2000NX EMI ou de performances équivalentes. Pour cela, tous les connecteurs sont équipés d'une « gorge » permettant la mise en place d'une troisième tresse de masse externe supplémentaire sans démontage du connecteur. L'intérieur de la « gorge » est crénelé pour avoir un contact électrique inférieur à 1 mΩ.

Cette REM pourra faire l'objet de dérogations au cas par cas après analyse des signaux véhiculés dans chaque câble.

REM-303 - Câbles en zone SE

Tous les câbles en zones SE présentent une impédance de transfert maximale :

- de 10 mΩ /m pour un signal continu,
- de 3 mΩ /m à 10 MHz,
- de 100 mΩ /m pour les fréquences jusqu'à 1GHz,

ou un **double blindage** dont les K_r sont supérieurs à 80 %.

Cette REM pourra faire l'objet de dérogations au cas par cas en fonction du cheminement des câbles et du niveau de champ électrique qui y est évalué.

REM-304 - Câbles en zone HL à moins de 10m des cellules de Pockels et Amplificateurs

Les câbles en zones HL cheminant à moins de 10 mètres des cellules de Pockels et des Amplificateurs, présentent au minimum un **double blindage** dont les Kr sont supérieurs à 80 %.

Pour les câbles véhiculant des signaux de tensions supérieures ou égales à 110 V c.c. ou 50 V a.c. un **simple blindage** est accepté avec un Kr supérieur à 80 %.

REM-305 - Câbles en zone HE hors casemates faradisées ou enveloppes CEM

Les câbles en zones HE, présentent au minimum un **simple blindage** avec un Kr supérieur à 80 %.

REM-306 - Câbles pour les réseaux de communications analogiques, « tout ou rien » et/ou numériques

L'utilisation de câbles possédant au moins un **simple blindage** est généralisée pour les réseaux de communications analogiques, « tout ou rien » et/ou numériques.

REM-307 - Câbles pour les fonctions de sécurité

Le niveau de blindage minimum est conforme aux recommandations du constructeur. De plus en renforcement de CEM, tous les câbles assurant des fonctions de sécurité présentent un **double blindage** quels que soient les niveaux de tensions utilisés et la zone d'utilisation.

En casemates faradisées ou enveloppes CEM, un blindage simple pourra être toléré ; cependant les câbles à double blindage sont recommandés.

REM-308 - Type de blindage – feuillard – zones d'utilisations

Sauf règles spécifiques, en zone SE et CE, les câbles à feuillard sont **proscrits**.

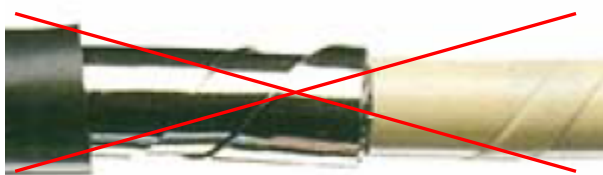
Les feuillards de type hélicoïde sont proscrits. Seuls sont autorisés les câbles à feuillard métallique présentant une constitution de **recouvrement longitudinal** de 360° plus un minimum de 90° de rabattement du feuillard sur lui-même. Le feuillard assure une continuité électrique, interne ou externe à la feuille, adaptée au type du connecteur d'accueil

Pour les câbles coaxiaux hyperfréquences, l'utilisation d'un feuillard hélicoïdal est tolérée dans la mesure où il est associé à un blindage par tresse et que le câble respecte les impédances de transfert indiquées REM-302 et REM-303.

Sauf mention spécifique additive, un feuillard à recouvrement longitudinal, ne sera jamais utilisé seul. Il sera systématiquement associé à :

- Soit un blindage de type tressé d'un taux de recouvrement (Kr) minimum de 80 %, ce blindage tressé recouvre la totalité du feuillard.
- Soit un deuxième feuillard également avec un recouvrement, au sens optique, de 100 %

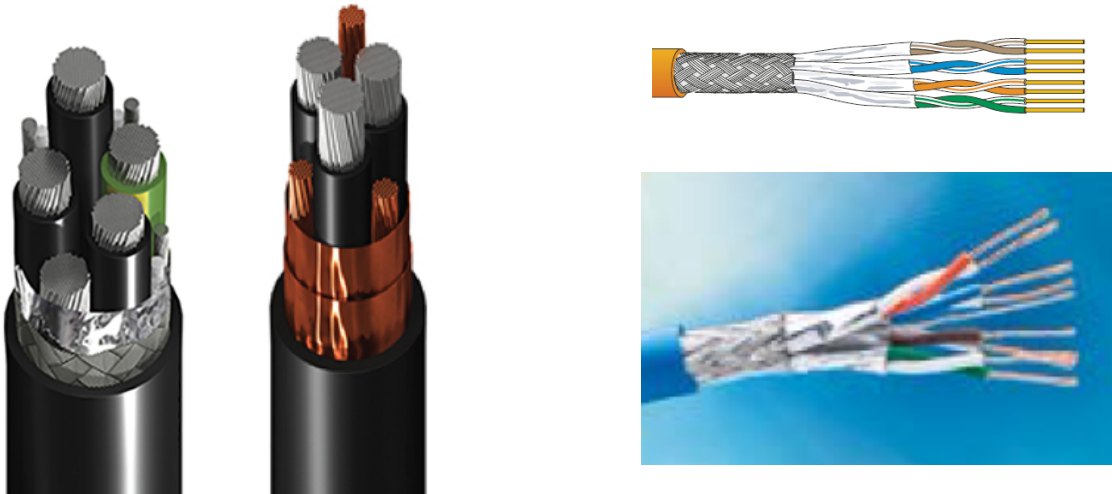
Feuillard de type hélicoïde **proscrit** :



Feuillard de type à recouvrement longitudinal accepté :



Exemples de câbles à feuillard acceptés :



REM-309 - Choix entre coaxial et paire blindée

Le coaxial sera préféré à la paire blindée pour les signaux supérieurs à 100 kHz

La paire blindée sera préférée pour les signaux basse fréquence (sous 100 kHz) à protéger des parasites grâce aux blindages et aux torsades.

REM-310 - Type de blindage câbles coaxiaux – taux de recouvrement

Sauf mention spécifique additive à cette REM, les câbles coaxiaux sont tous de type blindé à « doubles tresses » ou « feuillard longitudinal plus simple tresse », les taux de recouvrement (K_r) minimum des blindages tressés sont $\geq$ de 95%. Les connecteurs sont adaptés à la reprise de mise à la masse de l'éventuel feuillard, l'impédance de contact ne dépasse pas 1 milli-Ohm entre le connecteur et feuillard ou entre le connecteur et le couple « feuillard – tresse »

REM-311 - Paires torsadées blindées paire par paire – torsades conservées

Quelques soient les zones d'utilisations, à l'extérieur et à l'intérieur des enveloppes, tous les câbles filaires utilisés pour les communications d'informations logiques ou analogiques sensibles et pour les commandes de composants perturbateurs (ex : moteur pas à pas) sont de type à blindage général plus un deuxième blindage par paire,

Les paires sont de type torsadé, l'intégrité des torsades des paires est conservée à l'extérieur et l'intérieur des enveloppes de tous types CEM ou non-CEM (baie, armoire, coffret, etc.) jusqu'au raccordement sur composants ou entrées de racks.

3.3.2 Mise en œuvre des câbles

REM-350 - Câbles en dehors des chemins de câbles proscrits

La pose de câbles en dehors des chemins de câbles ou goulottes est **proscrite**. Les chemins de câbles ainsi que les boîtes de jonctions doivent être en matériaux conducteurs pleins et fermés. L'ouverture d'un chemin de câbles devra faire l'objet d'une demande de dérogation.

REM-351 - Blindages raccordés aux deux extrémités

Tous les blindages sont obligatoirement raccordés à la masse **des équipements** aux deux extrémités des câbles. Les bagues collectrices de connecteur sont prévues pour ce type de raccordement à 360°. De plus à l'intérieur des enveloppes, les blindages doivent également être raccordés à la masse à 360° aux deux extrémités, d'un côté sur la traversée connectorisée et de l'autre sur un barreau collecteur équipé de bornes à ressort relié à la masse de l'enveloppe (ex : bornes Woertz ou équivalentes), la présence d'un ressort assure un contact durable et compense la fluence du câble.

REM-352 - Connecteurs – valeurs minimum d'atténuation en zone CE

Les connecteurs présentent les gabarits d'atténuation minimum suivants :

- A moins de 40 cm du centre chambre : 95 dB en dessous de 10 kHz et 90 dB de 10 kHz à 3 GHz
- Entre 40 cm et 4 m par rapport au centre chambre : 90 dB en dessous de 10 kHz et 80 dB de 10 kHz à 3 GHz
- A plus de 4 m du centre chambre : 85 dB en dessous de 10 kHz et 70 dB de 10 kHz à 3 GHz

Cette REM est applicable à tous les connecteurs dans la CE et « sur et dans » les équipements « accrochés » à la surface de la CE.

Tous les connecteurs coaxiaux respectent à minima cette exigence, quelle que soit la zone d'utilisation (CE, SE, HE, Hors HE, casemates faradisées ou non faradisées, etc.).

REM-353 - Connecteurs – valeurs minimum d'atténuation en zone SE

Sauf mention particulière, les connecteurs présentent les gabarits d'atténuation minimum suivants :

- du signal continu à une fréquence inférieure à 10 kHz : atténuation minimum de 75 dB
- de 10 kHz à 3 GHz : atténuation minimum de 50 dB

REM-354 - Connecteurs – valeurs minimum d'atténuation en zone HE-HSB

Sauf mention particulière, les connecteurs présentent les gabarits d'atténuation minimum suivants :

- du signal continu à une fréquence inférieure à 10 kHz : atténuation minimum de 55 dB
- de 10 kHz à 3 GHz : atténuation minimum de 30 dB

REM-355 - Connecteurs – valeurs minimum d'atténuation en zones HE-SB, casemates non faradisées, HE Hors croix d'Aquitaine

Sauf mention particulière, les connecteurs présentent les gabarits d'atténuation minimum suivants :

- du signal continu à une fréquence inférieure à 10 kHz : atténuation minimum de 45 dB
- de 10 kHz à 3 GHz : atténuation minimum de 20 dB

REM-356 - Connecteurs – valeurs maximum de contacts mise à la masse

Les contacts de mises à la masse des connecteurs respectent la REM-108 de 1 milli-Ohm maximum :

- a) entre les blindages de câbles et la masse métallique du connecteur
- b) entre la masse métallique du connecteur et celle de l'embase traversante de l'enveloppe
- c) entre la masse métallique de l'embase traversante et celle de l'enveloppe

REM-357 - Reprise de blindage à 360° - Queue de cochon proscrite

Toutes les mises à la masse respectent :

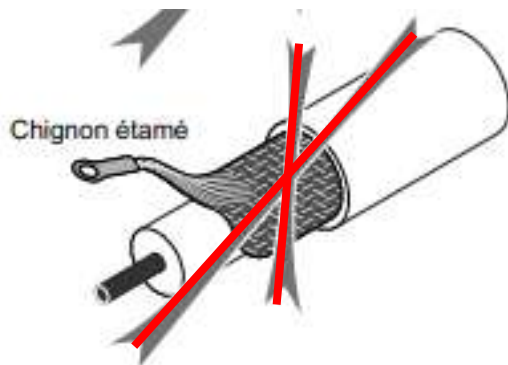
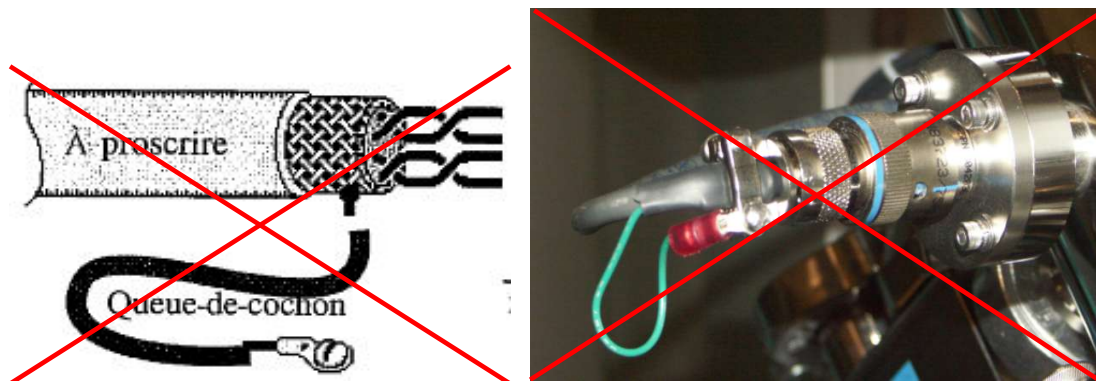
- une reprise du blindage général externe à 360°
- une reprise des blindages unitaires (paires blindées) sur le même point commun de mise à la masse

Tous les éléments de connexion, dont les connecteurs, sont adaptés au respect de ces exigences ; ils possèdent une collerette ou tout autre système équivalent capable de raccorder les blindages dans le respect de la REM-356.

Les reprises de blindages sous formes filaires sur les broches de connecteurs, coquilles de connecteurs, TRP, etc., sont **proscrites**.

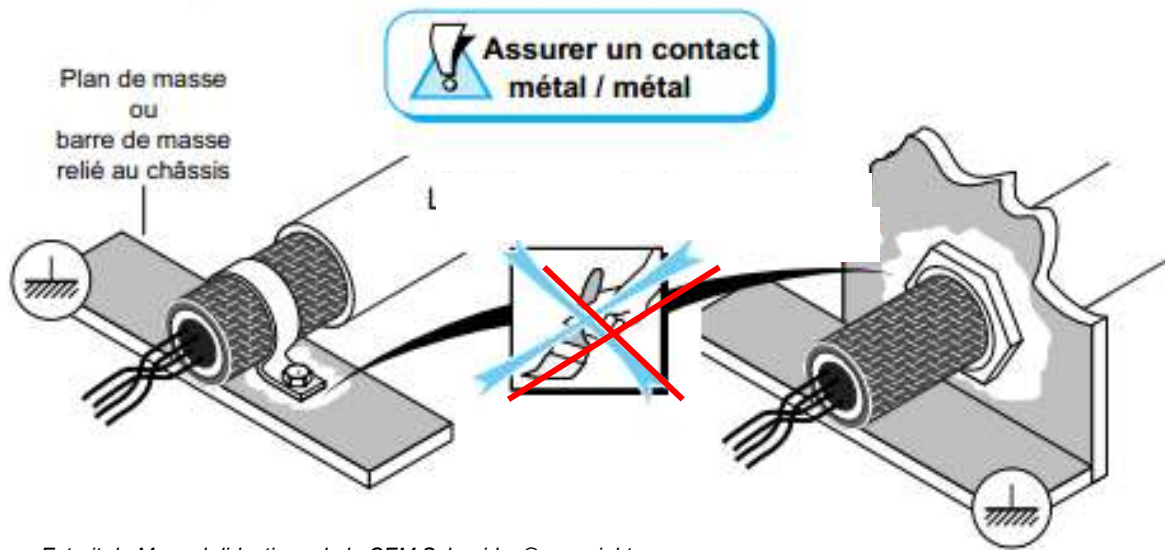
Les coquilles métalliques de connecteur dont le blindage est repris à 360° sont aptes à transmettre les charges électriques résiduelles sur la « peau » des enveloppes.

Les montages dits « queue de cochon » sont **proscrits** pour la totalité des composants de l'installation, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des enveloppes de tous types CEM ou Non-CEM.



Proscrit : reprise en chignon du blindage





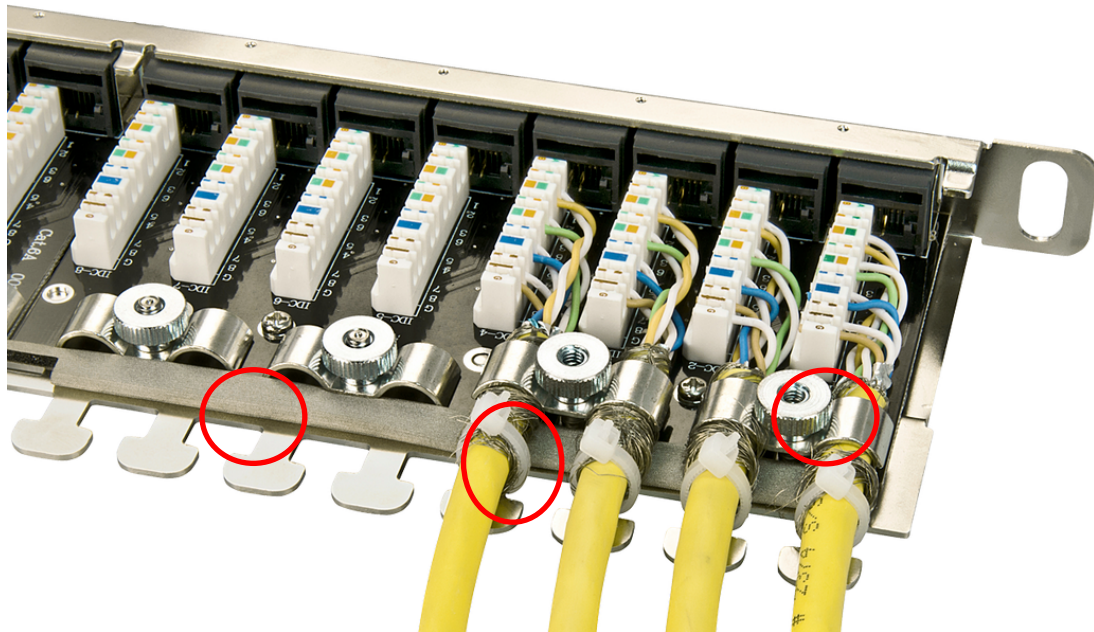
Extrait du Manuel didactique de la CEM Schneider © copyright

Les surfaces sont ébavurées des revêtements isolants (ex : peintures, anodisation, etc.)

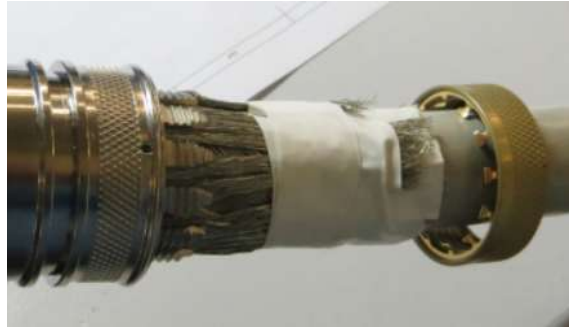
Exemple d'un bon raccordement de blindages sur plaque de réception adaptée en entrée de rack :

Le serrage par vis assure une bonne continuité électrique, le maintien par attaches assure la durabilité du montage, y compris lors des interventions en baie qui sollicitent le maintien des câbles.

Un joint CEM plat peut être inséré sous les câbles pour diminuer l'impédance de raccordement en HF



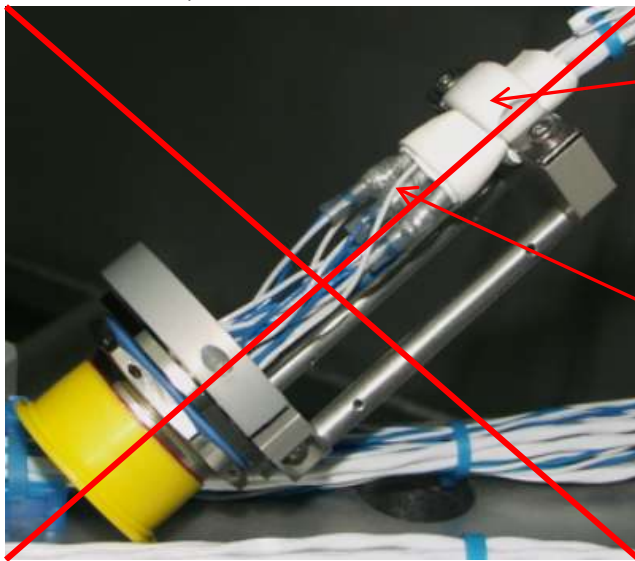
Exemple ci-dessous d'un raccordement correct en cours de montage :



OK : Le scotch blanc de maintien est ôté en fin de montage et les blindages sont rabattus avant serrage sur la circonférence à 360 ° entre les griffes de serrage.

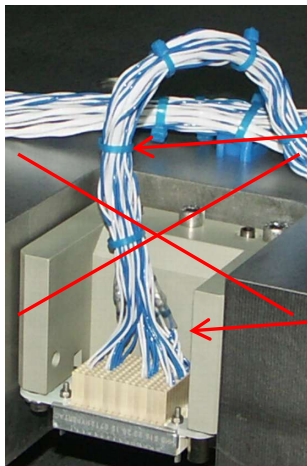
Exemples de montages proscrits :

- Reprise des blindages sur masse trop éloignée,
- Présence d'une longue queue de cochon pour le blindage,
- Le blindage est raccordé uniquement sur une broche du connecteur, il devrait d'abord l'être à 360 ° sur la masse du connecteur.
- Perte du pas de torsade.



Pas de reprise du blindage à 360 °

Reprise de tous les blindages par une queue de cochon



Mélange sans protection CEM de divers signaux sur une grande longueur

- Pas de reprise du blindage à 360 °
- Perte du pas de torsade

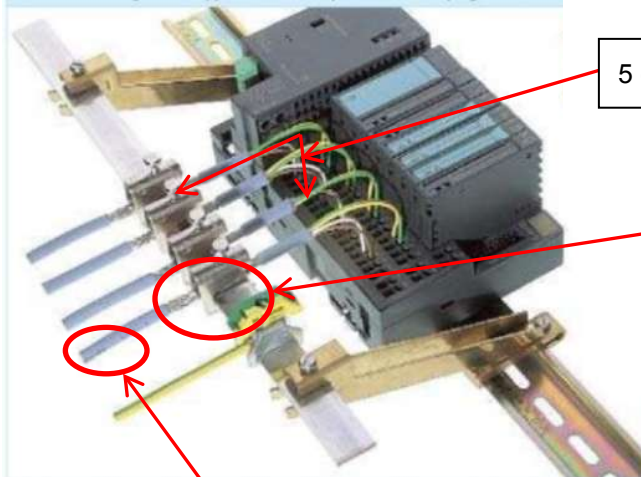
REM-358 - Continuité de blindage – signaux sensibles et perturbateurs

Les blindages des câbles véhiculant des signaux perturbateurs (ex : commande de moteur pas à pas, etc.) et des câbles véhiculant des signaux sensibles (logiques ou analogiques) se poursuivent jusqu'à moins de 5 cm des entrées des systèmes d'acquisitions et de commandes (racks, automates, etc.).

Un rail de mise à la masse supporte les bornes à ressorts qui permettent le raccordement aisé à 360° des blindages de câbles (ex : bornes Woertz ou équivalentes) au plus proche des entrées des systèmes d'acquisitions et de commandes.

A l'intérieur et à l'extérieur des enveloppes, le blindage conserve son intégrité sur toute la longueur pour ces deux types de signaux.

Bornes de blindage avec support No. 30962 pour automates programmables



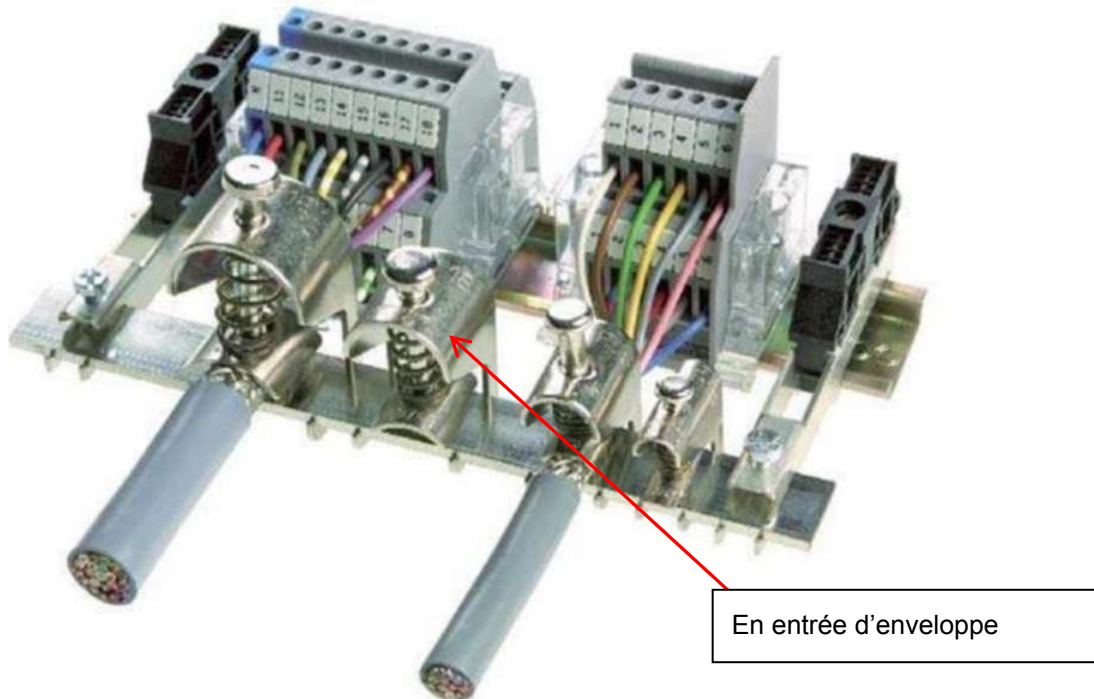
5 cm maximum



Conservation de l'intégrité du câble à l'intérieur de la baie jusqu'au droit des entrées de commandes et acquisitions

REM-359 - Continuité de blindage dans les enveloppes – signaux forts

Les blindages des câbles véhiculant de l'énergie peuvent être interrompus à l'intérieur de l'enveloppe soit au droit de l'interface connectorisée soit sur un barreau interne équipé de bornes à ressorts.

**REM-360 - Câblage en nappe sur support métallique**

L'agencement des câbles doit être tel que :

- a) Les câbles d'énergie et de signaux perturbateurs ne longent pas les câbles contenant les signaux sensibles, ils en sont séparés au maximum,
- b) Tous les câbles longent au maximum les surfaces métalliques, ils ne s'écartent pas de plus de 5 mm de la surface. Par exemple, on peut plaquer les câbles en nappes contre le métal des composants et non pas en torons circulaires.

Dans les enveloppes, l'emploi de goulottes métalliques est recommandé, l'une pour les courants fort et perturbateurs (ex : verticalement sur la droite et au horizontalement au fond), une autre pour les signaux sensibles (ex : verticalement à gauche et horizontalement en partie avant)

REM-361 - Câbles et brins en réserve raccordés à la masse

Les câbles en réserve, non connectés, non utilisés, etc., sont raccordés à la masse aux deux extrémités, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des enveloppes. Les brins en réserve raccordés sur connecteurs sont si possible mis à la masse par des bouchons ou autres systèmes adaptés.

REM-362 - Traversées et connecteurs coaxiaux – conservation de la nature coaxiale

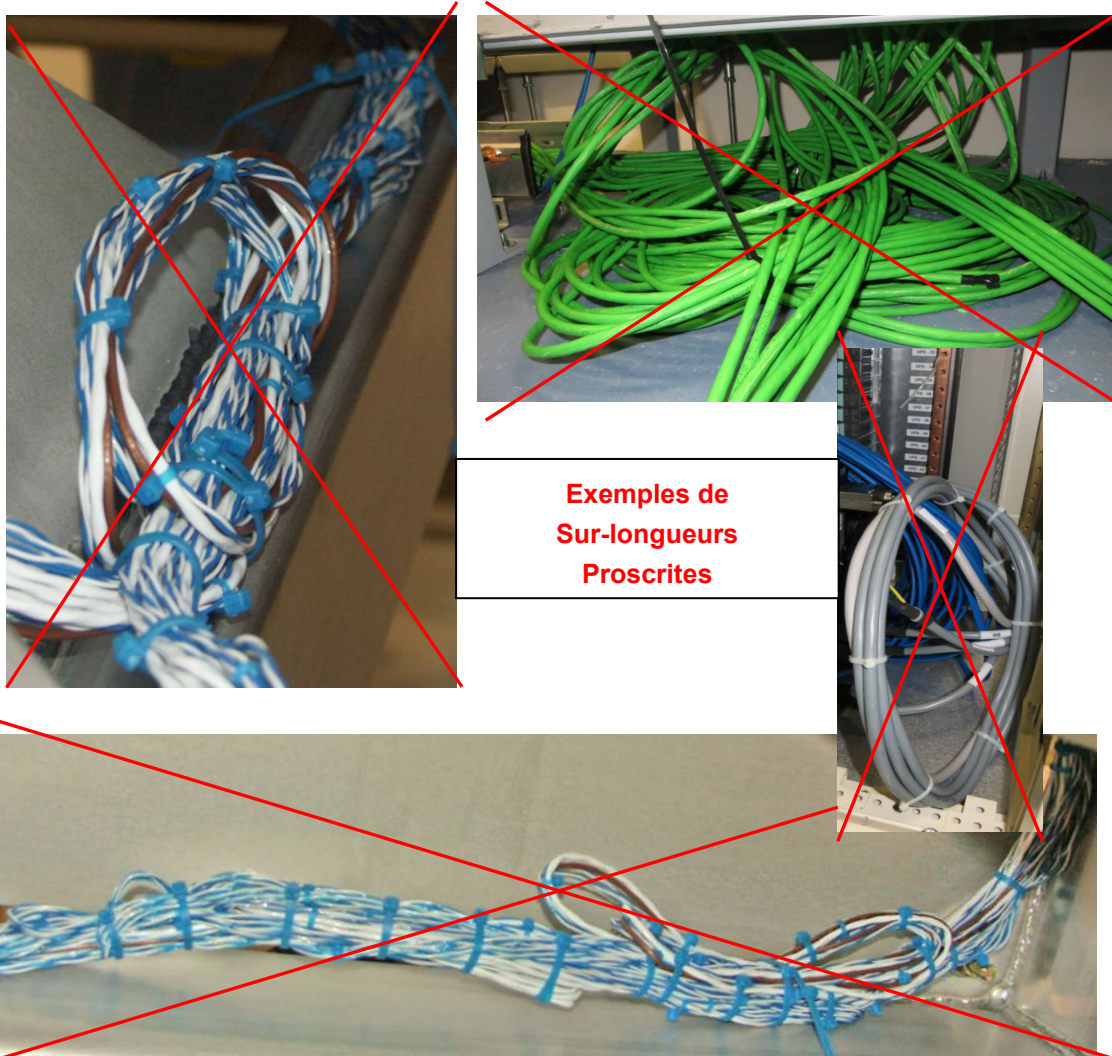
Les éléments constitutifs des réseaux de liaisons coaxiales assurent la conservation de l'intégrité de la nature « coaxiale » sur tous le parcours du signal, depuis l'émetteur (cartes électroniques, etc.) jusqu'aux récepteurs (ex : en baie, etc.). Les connecteurs, les traversées et les modes de raccordement permettent :

- la conservation de la nature « coaxiale »,
- la conservation de la performance de transmission,
- la conservation de l'atténuation en champ électrique.

Les reprises de type soudure locale, queue de cochon et montages assimilés sont **proscrites**.

REM-363 - Longueurs de câbles électriques et optiques adaptées

Les câbles électriques et optiques présentent des longueurs adaptées au plus court chemin de l'installation et de l'utilisation. **Les sur-longueurs excessives de câbles sont proscrites.**

**REM-364 - Brassage proscrit des câbles perturbateurs et sensibles**

Le brassage des signaux perturbateurs et signaux sensibles dans un même câble ou même faisceau de câbles est **proscrit**.

Dans le cas d'une impossibilité technique avérée, une étude des atténuations de mutuelle induction est requise pour valider le principe avant réalisation, cette étude accompagne une demande de dérogation. Une atténuation minimum de 90dB à 1GHz est requise entre câbles perturbés et câbles perturbateurs en modes communs et différentiels.

L'emploi d'une gaine Roundit 2000NX EMI ou de performances équivalentes est requis pour la protection des brins en cas d'ouverture du blindage de câble.

REM-365 – Réduction des perturbations en mode différentiel

Pour limiter l'effet de boucle, les conducteurs aller et retour d'un même circuit restent côte à côte et sont placés au plus proche du plan d'équipotentialité.

4. TESTS D'IMMUNITÉ CEM DES COMPOSANTS OU ÉQUIPEMENTS ET MESURES D'ATTÉNUATION DES ENVELOPPES CEM

REM-400 - Tests d'immunité en conduit

Pour les composants ou équipements sensibles, en particulier ceux situés en zone CE, il est fortement recommandé au titulaire de procéder à des tests d'immunité en conduit.

Pour tous ces essais, le critère de fonctionnement requis pendant l'essai est « A ». Conformément aux normes CEM ce critère signifie : « **Aucun défaut de fonctionnement sur le(s) composant(s) testé(s) pendant l'essai** »

De plus, les essais de décharge électrostatique et transitoire rapide en salve seront réalisés à des niveaux spécifiques décrits ci-dessous

Type de test	Conditions particulières d'essais par rapport à la norme NF-EN-61000-6-2
Décharge électrostatique selon norme NF-EN-61000-4-2	Décharges directes et indirectes : Un cycle minimum de 20 décharges par point, fréquence de répétition entre 5s et 0,05s à définir selon tests de premier équipement, nominal 1seconde. Niveau 4, +/- 8kV, pour la décharge au contact, +/- 15kV pour la décharge dans l'air selon le tableau 1 de la norme NF-EN-61000-4-2.
Transitoires rapides selon norme NF-EN-61000-4-4	- Niveau X spécial : +/- 4kV (tension en circuit ouvert) selon le tableau 1 de la norme NF-EN-61000-4-4, - Salve de 75 impulsions à 100kHz, période de répétition de salve 300ms. - Essais complet sur 6 groupes de salves espacés chacun d'une pose de 10 secondes Pour les circuits numériques : Groupe de 34 salves (total de 15300 impulsions) Pour les autres circuits : Groupe de 6 salves (total de 2700 impulsions) Injection par condensateur discret sur ligne ou pince de couplage capacitive conforme à la norme NF-EN-61000-4-4. En cas de difficulté de mise en place de la pince, l'emploi de bandes <i>conductrices</i> ou <i>feuilles de métal</i> est admissible. Le titulaire justifie dans ce cas cette procédure.

REM-401 - Tests d'immunité spécifiques en champ rayonné

Le CEA possède un banc de test spécifique permettant de reproduire l'ambiance électromagnétique rayonnée générée dans les différentes zones de l'installation pendant les expériences.

Pour les composants ou équipements sensibles, il est fortement recommandé au titulaire de procéder à des tests sur ce banc. Le volume de la zone de test est cependant limité à 2 m³.

L'accès au banc de test sera organisé par le CEA, mais le titulaire devra mettre le matériel à disposition (transport inclus) ainsi que les moyens humains et matériels pour vérifier sa fonctionnalité sur le site où se déroulera l'essai.

REM-402 - Qualification des enveloppes CEM

Les enveloppes CEM fournies par le titulaire ou la faradisation d'enveloppes industrielles (ex : faradisation d'un rack), conçues spécifiquement ou issues d'un fournisseur industriel et/ou d'un sous-traitant, sont à qualifier pour le niveau d'atténuation CEM requis par la zone d'utilisation.

Les éventuels courbes et résultats présentés par le fournisseur et/ou sous-traitant ne sont pas recevables ; seuls les résultats d'essais effectués spécifiquement pour ce marché, selon les exigences de tests ci-après, sont admis :

- Les mesures sont effectuées par un laboratoire certifié auprès de la **CEI**.
- Les mesures d'affaiblissement sont conformes à la norme **CEI 61587-3** ; elles sont effectuées en polarisations horizontales et verticales ; l'enveloppe en essai subit une rotation de 360° ; les mesures sont effectuées sur les six faces de l'enveloppes et sur chacune de ses 12 arrêtes. Pour plus de rapidité, les mesures peuvent être effectuées en Chambre Réverbérante à Brassage de Mode (CRBM) ; les écarts de mise en œuvre par rapport à la norme **CEI 61587-3** sont dans ce cas admis.
- Les niveaux requis respectent **l'intégralité de toutes les courbes brutes en mode « points »** des atténuations mesurées, sans moyenne ni intégration, au pas d'incrément toujours inférieur ou égal à 5MHz.
- A titre indicatif et non contractuel, pour l'interprétation des modes de « fréquences de résonances de cavités », les courbes moyennées à 1 % peuvent être présentées.

5. RÈGLES DE CONCEPTION VIS-À-VIS DES EFFETS RADIATIFS SUR LES COMPOSANTS ELECTRONIQUES ET INFORMATIQUES

Lors d'un tir, des rayonnements nucléaires sont émis par la cible sous forme de neutrons et de photons, le document « 20IA0004A » précise le dimensionnement de l'agression.

RET-500 – Niveau ambiance radiative – 6.10^{18} neutrons

Des cartographies en termes de dose et débit de dose ont été estimées pour l'électronique. Des règles pour les effets TREE et SGEMP ont été établies dans le document MOS00775E. **Les RET du MOS00775E sont applicables.**

Les équipements sont conçus pour être protégés vis-à-vis des ambiances radiatives dues à l'effet TREE.

Le dimensionnement est défini pour au maximum 6.10^{18} neutrons émis par tir neutronique.

RET-501 – Résistance aux doses, débits de doses et doses cumulées.

Les équipements situés dans les zones CE, SE et HE seront soumis aux effets induits par les différentes agressions :

- Rayonnements électromagnétiques émis par les différents équipements (CEM),
- Dépôt d'énergie dans les matériaux (dose dans l'électronique ou autre matériau),
- Débit de dose (effet TREE sur l'électronique),
- Impulsion électromagnétique initiée par l'interaction avec la cible,
- Champs électromagnétiques générés par les interactions ($h\nu$, e^-) à l'extérieur et l'intérieur des équipements (effet SGEMP).

Ces effets sont susceptibles de dégrader les différents composants et équipements.

Les composants et équipements sont conçus et câblés de telles façons qu'ils puissent résister aux doses et débits de doses instantanés ainsi qu'à la dose cumulée durant tout leur cycle de vie.

RET-502 – Choix des matériaux

Le choix des matériaux dans la CE doit être fait en tenant compte de leur dégradation sous rayonnement, en particulier pour les polymères situés dans les zones proches du centre chambre. La dose effective à considérer pour les divers matériaux est de 600 Gy à 1m du centre chambre par tir avec production de neutrons. La variation en fonction du nombre de tirs est linéaire. Le document « ref. 20IA0001B - Tenue au flux des polymères » précise les matériaux interdits et ceux utilisables.

RET-503 – Analyse, contrôle et validation pour la protection en ambiances radiatives

Le CEA analyse et valide les types d'électroniques et assemblages proposés par le titulaire avant la première mise en réalisation. Le titulaire respecte les recommandations émises par le CEA pour les protections à mettre en œuvre vis-à-vis des effets TREE.

RET-504 – Tests de composants pour la protection en ambiances radiatives

Pour certains cas particuliers d'électroniques qui n'ont pas fait l'objet d'études antérieures, le CEA demandera les informations détaillées du fabricant. Selon le résultat de cette première analyse, des échantillons peuvent être requis pour une mise en essais préalable à la définition.