



actifs, mais par le câble de protection équipotentielle (câble de terre) et/ou par le biais de capacités parasites.

Le but de ces mesures est de déterminer le contenu énergétique vu par le disjoncteur différentiel et d'identifier les éventuelles possibilités de déclenchement.

Dans cette optique, des mesures ont été effectuées :

- sur un banc de test de type 2 (nouvelle technologie de variateur) situé dans la salle de formation ayant subi à plusieurs reprises des disjonctions intempestives – Poste 1 ;
- sur un banc de test de type 1 (ancienne technologie de variateur) situé dans la même salle de formation n'ayant jamais subi de disjonctions intempestives – Poste 2 ;
- sur un banc de test de type 2 situé dans l'atelier ayant subi à plusieurs reprises des disjonctions intempestives – Poste 3 ;

afin de comparer la nature des courants de mode commun et d'isoler les causes des disjonctions.

#### 4 Analyse et interprétation des mesures

Le déclenchement des disjoncteurs différentiels dépend fortement de la fréquence du courant de mode commun. En effet, les disjoncteurs différentiels sont construits de telle façon que le déclenchement soit possible à partir d'une valeur efficace du courant de mode commun de 15mA, et certain pour une valeur supérieur ou égale à 30mA pour un signal de fréquence 'proche' de 50Hz.

Cette fourchette de déclenchement de 15 à 30mA est fonction de la fréquence.

En effet, des tests en laboratoire montrent que, selon le disjoncteur différentiel utilisé, le déclenchement aura lieu pour des valeurs de courant efficace variant avec la fréquence. Bien qu'il ne soit pas possible de définir une caractéristique unique de déclenchement en fonction de la fréquence pour tous les disjoncteurs, il apparaît néanmoins que la valeur de déclenchement augmente pour des fréquences élevées (70mA pour un signal à 15000Hz). Tout le contenu énergétique du signal n'est pas 'vu' par le disjoncteur car une partie est filtrée du fait de la bande passante du disjoncteur.

##### 4.1 Poste 1 - Banc de test 2

###### 4.1.1 Fonctionnement avec filtre RFI

Deux séries de mesures ont été effectuées sur un banc de test 2 de la salle de formation, lors du fonctionnement normal du robot, et lors de la mise sous tension de la maquette.

*En fonctionnement normal*, le courant de mode commun mesuré au niveau du disjoncteur en tête de l'installation est tel que représenté figure 1.

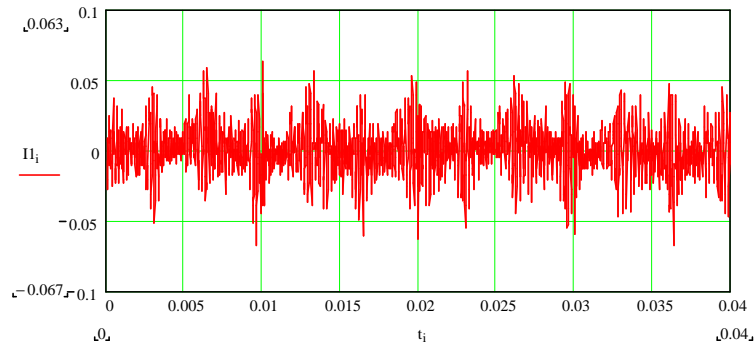


Figure 1 : Forme d'onde de courant de mode commun en fonctionnement normal sur un banc de test 2 avec filtre RFI

L'analyse spectrale de ce signal (identification des différentes fréquences constitutives du signal et les valeurs RMS associées) montre que la majorité du contenu énergétique se situe autour de 4000Hz (figure 2).

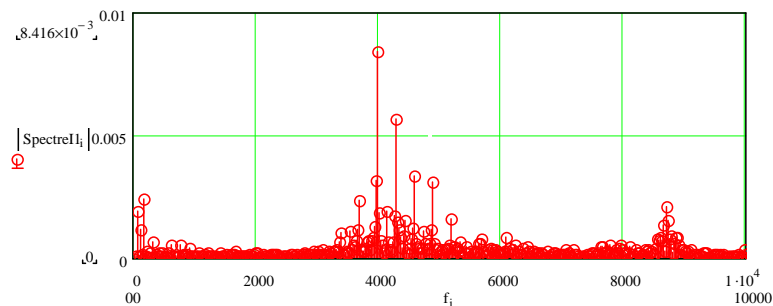


Figure 2 : Analyse spectrale du courant de mode commun en fonctionnement normal sur un banc de test 2 avec filtre RFI

En effet, la valeur efficace totale du courant de mode commun est de 17,5mA. Si l'on filtre par traitement mathématique la haute fréquence (atténuation des contributions énergétiques pour les hautes fréquences), la valeur efficace du courant n'est plus que de 6mA.

A la mise sous tension, la forme d'onde de courant de mode commun mesurée est telle que représentée sur la figure 3.

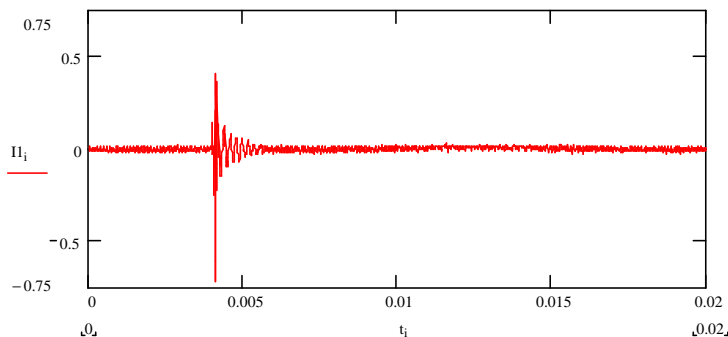


Figure 3 : Forme d'onde de courant de mode commun lors de la mise sous tension des bancs de test avec filtre RFI

On distingue sur l'analyse spectrale une composante à 50Hz (4mA), et une forte contribution des fréquences situées autour de 4000Hz (figure 4).

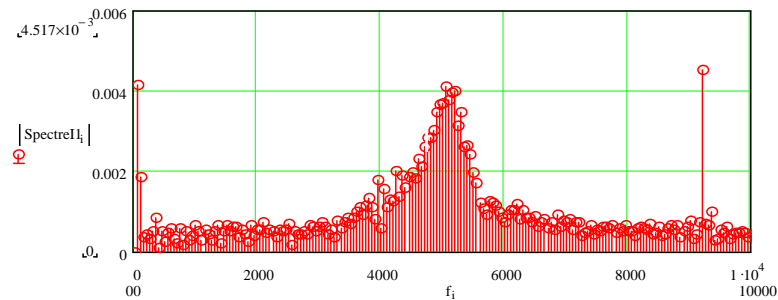


Figure 4 : Analyse spectrale du courant de mode commun lors de la mise sous tension des bancs de test avec filtre RFI

La valeur efficace totale du courant de mode commun est de 30,5mA.

Les mesures précédentes révèlent des valeurs de courant de mode commun relativement élevées que ce soit en fonctionnement normal ou à la mise sous tension.

La majorité du courant efficace se trouve à des fréquences se situant autour de 4000Hz qui est probablement la fréquence de découpage du variateur de vitesse alimentant les moteurs du robot.

Les composantes supérieures à 10000Hz sont quasi inexistantes.

#### 4.1.2 Fonctionnement sans filtre RFI

Les mêmes mesures (en fonctionnement normal, et à la mise sous tension) ont été effectuées sur le même départ en ayant débranché le filtre RFI potentiellement responsable de fuite à la terre.

En fonctionnement normal, la forme d'onde de courant de mode commun est telle que représentée sur la figure 7.

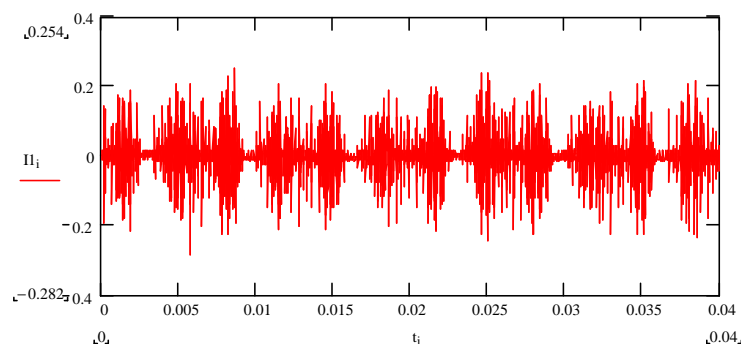


Figure 5 : Forme d'onde de courant de mode commun en fonctionnement normal sur un banc de test 2 sans filtre RFI

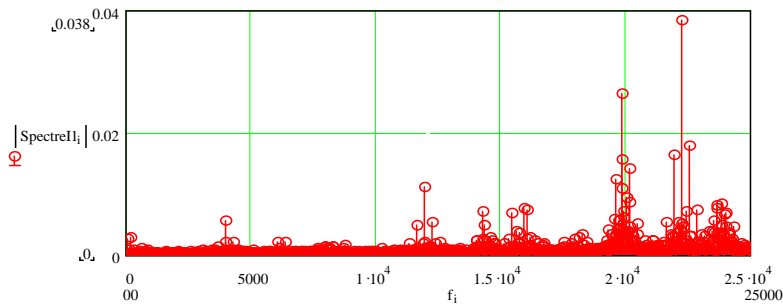


Figure 6 : Analyse spectrale du courant de mode commun en fonctionnement normal sur un banc de test 2 sans filtre RFI

La valeur efficace totale du courant de mode commun est alors de 78mA. Donc beaucoup plus élevée que dans les mêmes conditions lorsque le filtre était branché (17,5mA). On observe sur le spectre (figure 6) des composantes à fréquences élevées (20000Hz) qui n'apparaissent pas en présence du filtre.

A la mise sous tension, la forme d'onde de courant de mode commun est telle que représentée sur la figure 7.

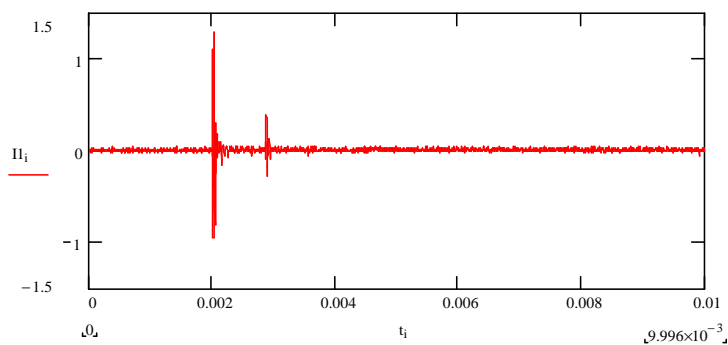


Figure 7 : Forme d'onde de courant de mode commun lors de la mise sous tension des bancs de test 2 sans filtre RFI

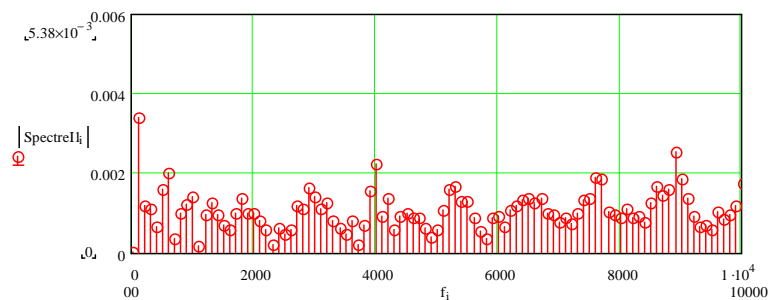


Figure 8 : Analyse spectrale du courant de mode commun lors de la mise sous tension des bancs de test 2 sans filtre RFI

La valeur efficace totale du courant de mode commun est de 56mA, et donc beaucoup plus élevée que lorsque le filtre était branché (30,5mA).

Les mesures effectuées sans filtre RFI révèlent que les valeurs efficaces des courants de mode commun en fonctionnement normal et à la mise sous tension sont beaucoup plus élevées qu'en présence du filtre RFI, avec la présence de composantes pour des fréquences élevées (de l'ordre de 20000Hz).

On peut donc en déduire que le filtre RFI joue bien son rôle en éliminant les composantes hautes fréquences et en diminuant ainsi le contenu énergétique du courant de mode commun.

Le filtre n'est donc pas à mettre en cause dans la présence de courants de fuite à la terre.

#### 4.2 Poste 2 - Banc de test 1

Le banc de test 1 correspondant à une technologie de variateur plus ancienne et n'a jamais subi de disjonctions intempestives.

*En fonctionnement normal*, le courant de mode commun mesuré au niveau du disjoncteur en tête de l'installation est tel que représenté figure 9.

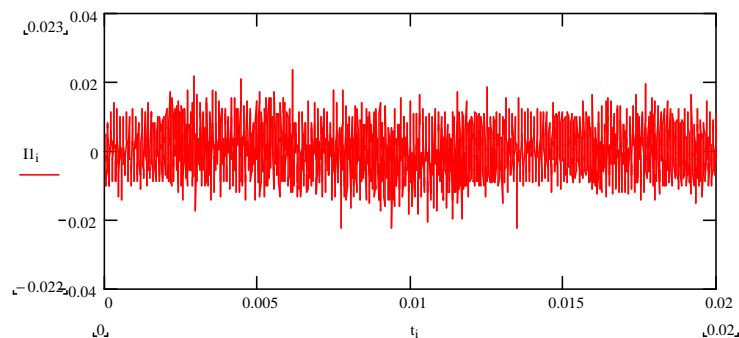


Figure 9 : Forme d'onde de courant de mode commun en fonctionnement normal sur un banc de test 1 avec filtre RFI

Le contenu spectral du courant de mode commun mesuré sur ce départ est très différent de celui mesuré sur le poste 1.

On distingue en effet une composante à 50Hz (1mA) et une composante à 10000Hz (5,5mA).

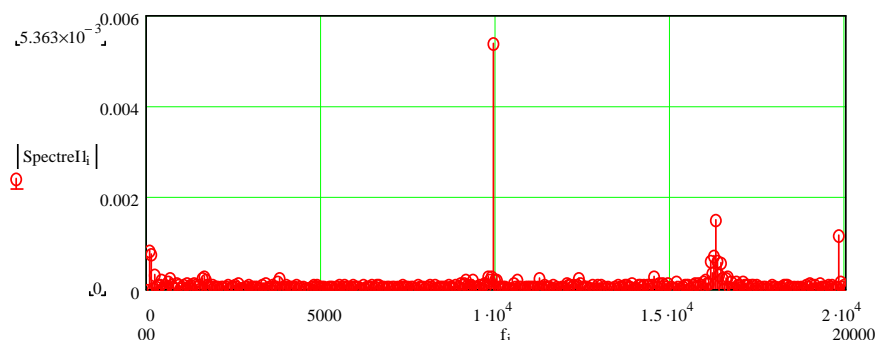


Figure 10 : Analyse spectrale du courant de mode commun en fonctionnement normal sur un banc de test 1 avec filtre RFI

La valeur efficace totale du courant de mode commun est de 7mA.

A la mise sous tension, la forme d'onde de courant de mode commun est telle que représentée sur la figure 11.

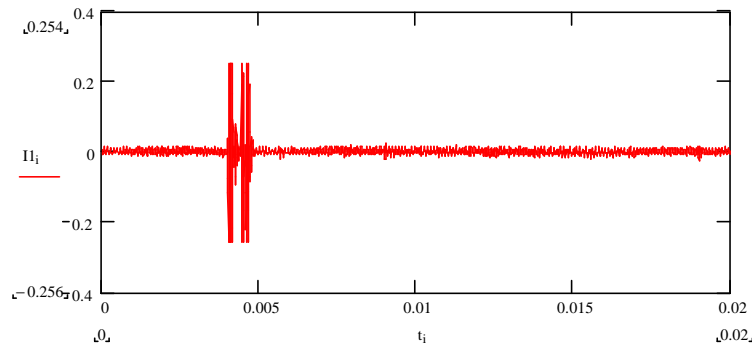


Figure 11 : Forme d'onde de courant de mode commun lors de la mise sous tension des bancs de test 1 sans filtre RFI

On distingue sur l'analyse spectrale une composante à 50Hz (1,6mA), et une composante à 10000Hz (4mA).

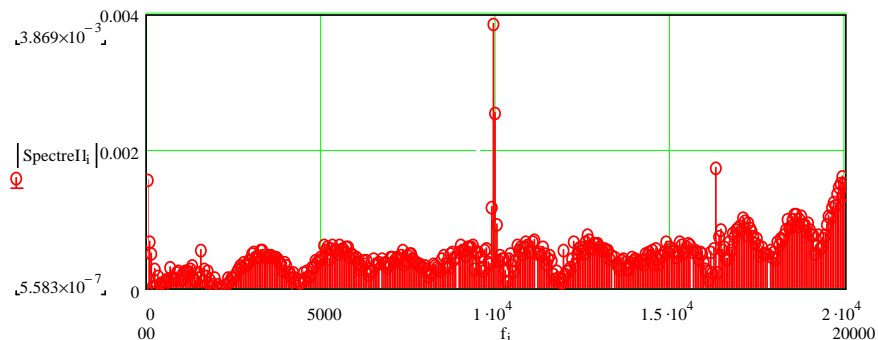


Figure 12 : Analyse spectrale du courant de mode commun lors de la mise sous tension des bancs de test 1 sans filtre RFI

La valeur efficace totale du courant de mode commun est de 30mA.

Les mesures effectuées sur le départ du banc de test 1 montrent que les valeurs de courant de mode commun sont plus faibles que pour le banc de test du poste 1.

Il est probable que les réglages des fréquences de découpage des variateurs de vitesse soient à l'origine des différences des valeurs des courants de mode commun.

En effet, plus la fréquence de découpage est élevée, et plus les courants de fuite rejetés à la terre ont des fréquences élevées, et moins ils seront visibles pour les disjoncteurs différentiels (bande passante).

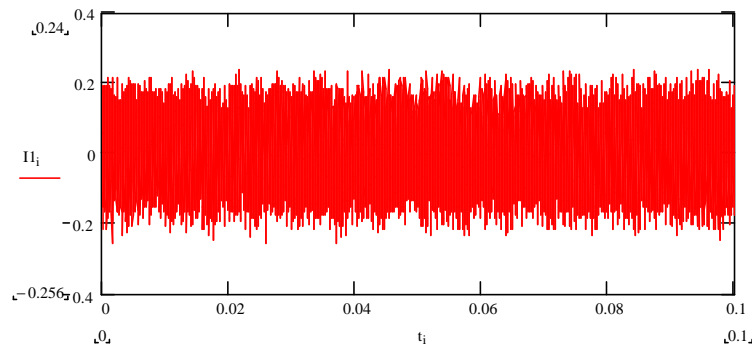
Il conviendra donc de contacter les fabricants des bancs de test robotique afin de vérifier si les fréquences de découpage des variateurs peuvent être réglables, et, le cas échéant, d'augmenter la fréquence de découpage des variateurs des bancs 2 et de vérifier l'influence sur les courants de mode commun.

### 4.3 Poste 3 - Banc de test 2

Deux séries de mesures ont été effectuées en amont de deux bancs de test 2 situés dans l'atelier, lors du fonctionnement normal des robots, et lors de la mise sous tension des maquettes.

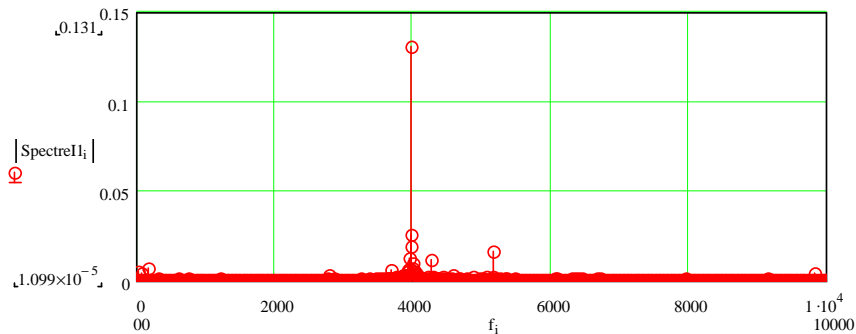
Les mesures de courant de mode commun présentées correspondent donc à la somme des courants de mode commun des deux maquettes.

*En fonctionnement normal*, le courant de mode commun mesuré au niveau du disjoncteur en tête de l'installation est tel que représenté figure 13.



*Figure 13 : Forme d'onde de courant de mode commun en fonctionnement normal sur un banc de test 2 avec filtre RFI*

L'analyse spectrale de ce signal (figure 14) montre que la majorité du contenu énergétique du signal se situe à 4000Hz. Les composantes basses fréquences sont quant à elles négligeables.



*Figure 14 : Analyse spectrale du courant de mode commun en fonctionnement normal sur un banc de test 2 avec filtre RFI*

La valeur efficace totale du courant de mode commun est de 140mA (soit 70mA par maquette).

*A la mise sous tension*, la forme d'onde de courant de mode commun mesurée est telle que représentée sur la figure 3.

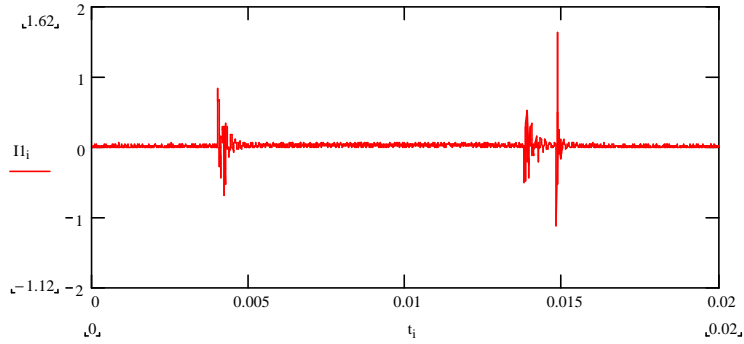


Figure 15 : Forme d'onde de courant de mode commun lors de la mise sous tension des bancs de test avec filtre RFI

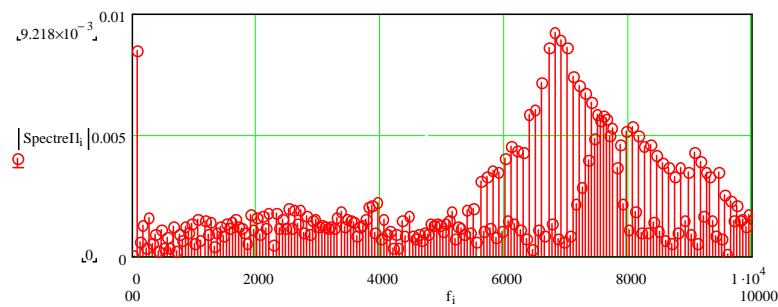


Figure 16 : Analyse spectrale du courant de mode commun lors de la mise sous tension des bancs de test avec filtre RFI

La valeur efficace totale du courant de mode commun est de 70mA (soit 35mA par maquette). La majeure partie du contenu énergétique se situe entre 6000 et 8000Hz. La valeur efficace totale du courant de mode commun pour la composante fondamentale est de 8mA.

Les courants de mode commun en amont des deux bancs de type 2 situés dans l'atelier sont de même nature que les courants de mode commun mesurés sur le même type de banc dans la salle de formation.

On en déduit donc que les bancs de test de type 2 sont fortement générateurs de courant de fuite à la terre dont le contenu énergétique est principalement situé dans les hautes fréquences (entre 4000 et 10000Hz). Les contributions des composantes basses fréquences ayant quant à elles un faible contenu énergétique.

Malgré les valeurs élevées des courants de mode commun, les disjoncteurs différentiels ne déclenchent pas systématiquement car les composantes hautes fréquences ne sont pas entièrement vues (bande passante des disjoncteurs). Toutefois, le contenu énergétique est tel qu'un disjoncteur 30 mA est probablement dans une situation de déclenchement probable, et qu'il suffit d'une faible augmentation des perturbations pour engendrer l'ouverture du disjoncteur.

## 5 Conclusions

Les mesures effectuées en divers points de l'installation révèlent que :

- les courants de mode commun générés par les bancs de test de type 2 ont un fort contenu énergétique (de l'ordre de 20mA en fonctionnement normal) situé dans les hautes fréquences (entre 4000Hz et 10000Hz) et susceptibles d'engendrer le déclenchement des disjoncteurs différentiels. Le contenu énergétique en basse fréquence (inférieur à 1000Hz) est de l'ordre de quelques milliampères et donc négligeable.
- les courants de mode commun générés par les bancs de test de type 1 ont un contenu énergétique plus faible (de l'ordre de 7mA en fonctionnement normal) que pour les bancs 2, situé dans les hautes fréquences (10000Hz) et non suffisant pour engendrer le déclenchement des disjoncteurs différentiels

Les disjoncteurs différentiels sont sensibles à toutes les fréquences, mais pas en proportions égales. Entre 10 et 6000Hz tout le contenu spectral est 'vu' par le disjoncteur. Au-delà les contributions sont plus faibles du à la bande passante des disjoncteurs différentiels.

La solution la plus évidente pour éviter les disjonctions intempestives consiste à remplacer les disjoncteurs existants par des disjoncteurs différentiels de type SI, Super Immunisé, dont la bande passante est limité à 500Hz. Toutes les contributions énergétiques hautes fréquences sont donc invisibles pour le disjoncteur et les disjonctions moins probables.

Une seconde solution, consistant à supprimer les 30mA pour les remplacer par des 300mA, avec suppression de toutes les prises de courants et remplacement par des alimentations de type CANALIS ou borniers est possible. Elle est acceptable uniquement dans le cas où les locaux de test ne sont pas classés 'chantier' (l'utilisation des DDR 30mA étant alors obligatoire en amont de tous les socles de prises pour tous les niveaux de courant ; situation actuelle), et si les personnes devant intervenir dans les armoires électriques sont habilités par leur employeur, conscientes des risques pris, et respectueuses des règles de sécurité électrique sur le site.

## Annexe

### Extrait du décret 88-1056 du 14 novembre 1988, relatif à la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en oeuvre des courants électriques.

#### Prescriptions au personnel

Art. 46. - I. -

Les prescriptions au personnel sont différentes suivant qu'il s'agit:

- a) De travailleurs utilisant des installations électriques;
- b) De travailleurs effectuant des travaux, sur des installations électriques, hors tension ou sous tension, ou au voisinage d'installations électriques comportant des parties actives nues sous tension.

II. -- L'employeur doit s'assurer que ces travailleurs possèdent une formation suffisante leur permettant de connaître et de mettre en application les prescriptions de sécurité à respecter pour éviter des dangers dus à l'électricité dans l'exécution des tâches qui leur sont confiées. Il doit, le cas échéant, organiser au bénéfice des travailleurs concernés la formation complémentaire rendue nécessaire notamment par une connaissance insuffisante desdites prescriptions.

III. -- L'employeur doit s'assurer que les prescriptions de sécurité sont effectivement appliquées et les rappeler aussi souvent que de besoin par tous moyens appropriés.

IV. -- Les travailleurs doivent être invités à signaler les défauts et anomalies qu'ils constatent dans l'état apparent du matériel électrique ou dans le fonctionnement de celui-ci. Ces constatations doivent être portées le plus tôt possible à la connaissance du personnel chargé de la surveillance prévue à l'article 47.

V. -- Les travailleurs doivent disposer du matériel nécessaire pour exécuter les manoeuvres qui leur incombent et pour faciliter leur intervention en cas d'accident. Ce matériel doit être adapté à la tension de service et doit être maintenu prêt à servir en parfait état.

#### Surveillance des installations

Art. 47. - I. -

Une surveillance des installations électriques doit être assurée. L'organisation de cette surveillance doit être portée à la connaissance de l'ensemble du personnel.

II. -- Cette surveillance doit être opérée aussi fréquemment que de besoin, et provoquer, dans les meilleurs délais, la suppression des défauts et anomalies dont les installations peuvent être affectées.

III. -- La surveillance concerne notamment:

a) Le maintien des dispositions mettant hors de portée des travailleurs les parties actives de l'installation;

b) Le bon fonctionnement et le bon état de conservation des conducteurs de protection;

c) Le bon état des conducteurs souples aboutissant aux appareils amovibles ainsi qu'à leurs organes de raccordement;

d) Le maintien du calibre des fusibles et du réglage des disjoncteurs;

e) Le contrôle du bon fonctionnement des dispositifs sensibles au courant différentiel résiduel;

f) La signalisation des défauts d'isolement par le contrôleur permanent d'isolement;

g) Le contrôle de l'éloignement des matières combustibles par rapport aux matériels électriques dissipant de l'énergie calorifique;

h) Le contrôle de l'état de propreté de certains matériels électriques en fonction des risques d'échauffement dangereux par l'accumulation de poussières;

i) Le contrôle des caractéristiques de sécurité des installations utilisées dans les locaux à risques d'explosion;

j) La bonne application des dispositions du II de l'article 52.