

<b>Le contrôle des installations et la nouvelle NF C 15-100 par Edmond Vigneron, ingénieur en chef de l'Association Lyonnaise des A.P.A.V.E.</b>	N° d'ordre	: 2018-Mesures	Rév. :	0
	Classement	: Forum		
	Emetteur	: Mr VIGNERON		
	Destinataire 1	:		
	Destinataire 2	:		
	Rédigé le	: 1980	Page :	1/5
	Révisé le	: 23/11/2018		

## Introduction

Le Chapitre 6 de la nouvelle NF C 15-100 (La grenat de Juillet 1977<sup>1</sup>) est consacré en grande partie aux problèmes des vérifications. Mais il est bien évident que les vérifications doivent porter effectivement sur toutes les règles qui sont contenues dans ce volumineux document. En fait ce chapitre 6 évoque surtout les questions qui paraissent les plus importantes présentant des aspects particuliers, soit en ce qui concerne la méthode des vérifications, soit en ce qui concerne les critères d'appréciation.

Les vérifications ont pour but de contrôler la conception, la réalisation et l'entretien des installations, au regard des règles de la norme, ainsi d'ailleurs qu'au regard des différentes prescriptions réglementaires. Les dispositions qui sont envisagées dans la norme respectent bien entendu celles qui ont déjà été prises dans le domaine réglementaire, et notamment en ce qui concerne toutes les mesures de protection prises contre les risques de contact indirect. Elles viennent, en somme, apporter les différentes précisions techniques qui étaient déjà annoncées dans une récente note technique du Ministère du Travail la note technique SEC/EL N°17 annexée à la circulaire du octobre 1974<sup>2</sup>.

## La vérification d'isolement

Nous allons maintenant aborder d'une façon un peu plus précise les aspects pratiques qui sont contenus dans le chapitre 6, et si nous prenons les problèmes dans l'ordre, nous aborderons d'abord les problèmes des vérifications d'isolement. Je ne pense pas qu'il y ait là grande innovation par rapport à ce qui se fait jusqu'à présent. On a seulement précisé certains critères.

On a d'abord souligné que l'isolement devait être **mesuré en courant continu**, ce qui paraît assez évident et sous une tension au moins égale à 500 V. D'autre part, on a fixé que l'isolement doit être au moins égal à 1000  $\Omega$  par volts avec un minimum de 250 000  $\Omega$  et cela pour des tronçons de longueur sensiblement égale à 100 mètres, étant entendu que pour des tronçons légèrement supérieurs ou légèrement inférieurs à 100 mètres, la valeur sera corrigée en conséquence. La valeur admissible étant inférieure pour un tronçon supérieur à 100 mètres, et au contraire supérieure pour un tronçon inférieur à 100 mètres. Dans le même sous chapitre, même article, on traite également des essais diélectriques sur les ensembles d'appareillage non montés en usine et on fixe également là le mode opératoire et les différents critères à retenir suivant les différentes tensions nominales.

## L'impédance de boucle

On aborde ensuite ce qui est certainement la partie la plus novatrice du nouveau texte. Il s'agit de toutes les mesures de protection contre les risques de contact indirect et notamment de la protection contre ces risques lorsque celle-ci est assurée par les dispositifs de protection contre les surintensités. Le problème le plus important, et tout à fait nouveau, est dans ce domaine, la nécessité de mesurer l'impédance de la boucle de défaut. Cela se présentera d'une façon systématique dans toutes les installations suivant le schéma TN ou suivant le schéma IT.

Pourquoi faut-il mesurer l'impédance de la boucle de défaut ? Le but de cette mesure est d'évaluer la valeur de l'intensité du courant de défaut franc de façon à pouvoir déterminer le temps de fonctionnement du dispositif de protection amont pour ce courant.

On peut trouver, en effet, dans les chapitres correspondants, les règles à respecter en ce qui concerne les différents temps de coupure qui sont tolérés en fonction des tensions de contacts présumées. Par conséquent, pour définir ces temps, il faut d'abord pouvoir évaluer la valeur du courant de défaut franc. Puis de déterminer le temps de fonctionnement des dispositifs de protection, évaluer également la tension de contact présumée, car en effet, cette valeur de la tension de contact présumée va se présenter comme le produit de ce courant de défaut par la résistance de liaison assurée par le conducteur de protection entre la masse en défaut et le point de liaison équipotentiel le plus proche.

Dans certains cas, et notamment lorsqu'on envisage de réduire la section du conducteur de protection

<sup>1</sup> Chapitre repris dans les versions suivantes de la NFC 15-100.

<sup>2</sup> Ce texte du ministère du travail a été certainement incorporé sous une forme ou autre dans les nouveaux textes relatif aux installations électriques.

<b>Le contrôle des installations et la nouvelle NF C 15-100 par Edmond Vigneron, ingénieur en chef de l'Association Lyonnaise des A.P.A.V.E.</b>	N° d'ordre	: 2018-Mesures	Rév. :	0
	Classement	: Forum		
	Emetteur	: Mr VIGNERON		
	Destinataire 1	:		
	Destinataire 2	:		
	Rédigé le	: 1980	Page :	2/5
	Révisé le	: 23/11/2018		

par rapport à celle des conducteurs actifs il faudra également connaître à la fois la valeur du courant de défaut et le temps de fonctionnement du dispositif de protection.

Précisons également que de nombreux essais ont mis en évidence le fait que la mesure de la simple résistance de la boucle n'était pas suffisante pour évaluer la valeur du courant de défaut notamment lorsque des éléments ferromagnétiques existent au voisinage de la boucle de défaut. Cette situation se rencontre essentiellement dans les distributions en câbles armés lorsque le conducteur de protection n'est pas incorporé à la canalisation, donc extérieur au câble et dans les distributions en conducteur unipolaire posé sur les chemins de câbles métalliques, ou d'une façon plus générale sur toute structure métallique quelle qu'elle soit, charpente métallique par exemple.

D'une façon plus générale et à des degrés divers, l'impédance de boucle diffère de la résistance de boucle lorsque la surface de la boucle est importante, c'est-à-dire lorsque le conducteur de protection n'est pas incorporé à la canalisation ou n'est pas posé à proximité immédiate des conducteurs actifs. La mesure de l'impédance de boucle n'est pas à priori facile à réaliser. **En passant, signalons d'ailleurs que les appareils assez couramment dénommés ohmmètres de boucle, ne mesurent pas en général cette impédance de boucle mais mesurent simplement la résistance de boucle.** Au vrai, cela n'a pas d'inconvénients majeurs bien entendu, au niveau des circuits terminaux qui eux sont essentiellement résistants. Mais c'est par contre inacceptable au niveau des départs principaux, des sections plus élevées. Or, nous verrons dans un instant que l'on pourra préciser et en général se dispenser de mesurer l'impédance de la boucle au niveau des circuits terminaux essentiellement résistants, mais que par contre, le problème de la mesure de l'impédance de la boucle se présentera surtout au niveau des circuits de distribution principale, de sections importantes, et pour lesquels on ne pourra pas se contenter général de mesurer simplement la résistance.

Le guide qui est annexé aux règles donne le mode opératoire de mesure. Il consiste, sur l'installation mise hors tension de façon préalable, à établir un court-circuit entre un conducteur de phase et la masse ou le conducteur de protection, au niveau où l'on veut mesurer cette impédance de boucle. On injecte à l'origine de la boucle ainsi constituée, à l'aide d'un générateur de courant alternatif de fréquence égale à la fréquence nominale de l'installation, un certain courant. On mesure simultanément le courant qui circule dans la boucle et la tension à l'origine et par définition le rapport de ces deux grandeurs nous donne l'impédance de la boucle.

Evidemment, la présence dans une installation de dispositif de coupure à manque de tension conduira le plus souvent à effectuer des mesures partielles d'impédance de boucle, c'est-à-dire à mesurer ces impédances, par tronçons successifs. L'impédance totale de boucle pourra être considérée comme la somme arithmétique des impédances partielles de boucle entre l'origine et le point où l'on se place. Il faudra bien entendu ajouter à ces impédances, l'impédance partielle propre au transformateur. Celle-ci ne pourra s'évaluer que par le calcul et les formules habituelles.

A ce sujet, il pourra se présenter dans certains cas une difficulté. Lorsque l'on aura à faire à des transformateurs à couplage triangle-étoile, il n'y aura pas de difficultés puisque l'impédance monophasée phase-neutre pourra être prise sensiblement égale à l'impédance triphasée du transformateur. Par contre, lorsque l'on à faire à des transformateurs à couplage étoile-étoile, l'impédance monophasée phase-neutre ne sera plus égale à l'impédance triphasée. Elle est en générale beaucoup plus élevée, de l'ordre de 4 à 5 fois l'impédance triphasée. Cette difficulté se présentera essentiellement dans les installations suivant le schéma TN. Car, dans ces installations et en cas de défaut entre phase et masse, le transformateur fonctionnera bien en régime homopolaire. Par contre, dans les installations IT et en cas de double défaut, si l'on excepte bien entendu l'hypothèse peu probable que le second défaut affecte le conducteur neutre du transformateur lui-même, on pourra considérer qu'à ce moment c'est seulement l'impédance triphasée du transformateur qui intervient - l'impédance biphasée plus exactement - et non pas l'impédance monophasée. Dans ce cas, il faudra opérer comme si l'on utilisait un transformateur à couplage triangle-étoile.

Disons tout de suite que cette mesure de l'impédance de boucle n'est exigée que lors de la vérification initiale, avant mise en service, et que lors des vérifications ultérieures, il suffira de vérifier que la résistance de liaison entre les différentes masses et le point neutre de la source dans le schéma TN, ou entre les différentes masses et les points équipotentiels les plus proches de la source, dans les schémas IT n'a pas sensiblement variée.

D'autre part, et même dans le cadre de la vérification initiale, on pourra se dispenser de la mesure de

<b>Le contrôle des installations et la nouvelle NF C 15-100 par Edmond Vigneron, ingénieur en chef de l'Association Lyonnaise des A.P.A.V.E.</b>	N° d'ordre	: 2018-Mesures	Rév. :	0
	Classement	: Forum		
	Emetteur	: Mr VIGNERON		
	Destinataire 1	:		
	Destinataire 2	:		
	Rédigé le	: 1980	Page :	3/5
	Révisé le	: 23/11/2018		

l'impédance de boucle, si on réunit simultanément les trois conditions suivantes :

- 1) s'il existe à l'origine du circuit une protection contre les surcharges
- 2) si la section du conducteur de protection est égale à la section des conducteurs de phase
- 3) si le conducteur de protection est incorporé à la canalisation ou à proximité.

En effet, dans ce cas, quel que soit le courant de double défaut, on peut dire, puisque la section du conducteur de protection est égale à celle des phases, que la protection thermique du conducteur de protection est valablement assurée par la protection de surcharge sur les conducteurs de phase. Restera bien entendu à vérifier que les conditions imposées à la tension de contact sont vérifiées, conditions que nous allons maintenant examiner.

Mais avant, je pense qu'il faut également attirer l'attention sur le fait suivant le texte du guide, en ce qui concerne les risques de protection contre les contacts indirects donne, en général, deux méthodes à l'installateur ou au concepteur.

La première est basée sur le calcul. Elle n'est donc abordable que si le calcul est possible c'est-à-dire lorsque le conducteur de protection est incorporé aux canalisations.

La deuxième méthode est fondée sur la mesure physique de l'impédance de boucle. Si l'impédance de boucle n'est pas mesurée mais simplement calculée ou évaluée, il conviendra néanmoins de vérifier que le conducteur de protection est bien raccordé sur toute sa longueur. En effet, une simple mesure de la résistance ohmique entre la mise considérée et le point équipotentiel le plus proche, par exemple, ou le point neutre de la source, ne permettra pas de constater qu'il y a rupture de continuité du conducteur de protection. Car, le plus souvent, ce conducteur se trouvera placé en parallèle avec des éléments conducteurs de fait, tels que charpente métallique, réseau de tuyauterie, etc. dont la résistance ohmique sera souvent nettement inférieure à la résistance ohmique du conducteur de protection. On serait alors amené à conclure un bon raccordement alors qu'en fait il n'en n'est rien. La boucle, en cas de défaut, ne se refermerait pas comme on s'y attendrait, c'est-à-dire par le conducteur de protection, mais par les chemins divers mal connus dont l'impédance risque d'être nettement supérieure à celle qui serait escomptée par le calcul.

Evidemment, la méthode de mesure de l'impédance de boucle qui est proposée, n'est pas forcément la seule. Elle aura évidemment l'inconvénient de réquisitionner l'installation et conduira à des opérations assez laborieuses, telle que réalisation des courts-circuits. Il n'est évidemment pas interdit d'utiliser d'autres méthodes. Il en existe effectivement et il y a actuellement en cours d'étude, des équipements qui permettront la mesure directe de l'impédance de boucle sur une installation en fonctionnement et sous tension.

### La tension de contact

Voyons maintenant comment se présente la vérification de la condition qui est imposée à la tension de contact. Cette condition s'exprime par une relation de la forme

$$R \leq \frac{U}{I_A}$$

- U La tension de contact admissible variable suivant le temps de coupure protection, du dispositif de protection
- $I_A$  Intensité de fonctionnement du dispositif de protection.
- R La résistance en question est la résistance entre la masse et le point équipotentiel le plus proche. Fort heureusement, si on avait été obligé de vérifier cette condition telle quelle, cela aurait été très compliqué, il aurait fallu chaque fois prendre en compte le courant de défaut - défaut simple dans le schéma TN, défaut double dans le schéma IT - regarder le temps de coupure du dispositif de protection pour ce courant, et vérifier cette relation.

Heureusement, on a pu montrer que cette relation pouvait se ramener à une relation plus simple de la forme :

$$R \leq \frac{K}{I_N}$$

- R a toujours la même définition,

- $K$  est un coefficient qui tient compte du type de la protection, c'est-à-dire du type du fusible ou du disjoncteur,
- $I_N$  est le courant nominal du coupe-circuit ou le courant de réglage du disjoncteur.

Il faut bien comprendre que cette règle - on a cherché volontairement à faire une règle simple - a surtout pour but de donner un moyen commode de vérification, notamment en ce qui concerne les disjoncteurs. M. Richard a fait remarquer qu'il n'existait malheureusement pas, pour l'instant, de caractéristiques précises de fonctionnement des disjoncteurs. Pour ceux-ci en l'absence de caractéristiques, on a donc été conduit à prendre en considération une espèce de caractéristique enveloppe, englobant les caractéristiques de la plupart des appareils connus sur le marché actuellement. Si une installation en un point donné ne satisfait pas strictement à la condition que je viens d'énoncer cela ne vaudra pas dire obligatoirement que cette installation est condamnable. Il faudra peut-être, et notamment dans le cas d'un disjoncteur, regarder les choses de plus près et faire la vérification pour la caractéristique disjoncteur qui est impliqué dans la boucle.

Il est également précisé que la mesure de la résistance entre la masse et le point équipotentiel le plus proche, petit être effectuée sous une faible tension, en principe inférieure à 12 volts, et sous un courant égal ou supérieur à 2 ampères. Même si cela n'est pas indiqué dans la norme, il est souhaitable que cette mesure se fasse en courant continu. Je pense qu'il est important de le souligner. L'expérience nous a montré abondamment que des mesures de résistance effectuées sous courant alternatif ne conduisaient pas à des valeurs significatives. Pourquoi ? Eh bien parce que, dans un site industriel on rencontre énormément de phénomènes d'induction, de phénomènes capacitifs. Suivant la position des conducteurs de mesure on trouve finalement toutes les valeurs que 'on veut bien trouver. Il faut donc faire la mesure en courant continu.

D'autre part, il faut que cette mesure soit aussi sensible que possible. En effet, compte tenu de la valeur des courants de défaut possible ou des courants nominaux des appareils de protection, on s'aperçoit que les résistances admissibles sont des résistances très faibles qui sont de l'ordre de quelques milli ohms. Il faut donc que la mesure puisse atteindre cette sensibilité.

Pourquoi également procéder sous faible tension ? Il y a d'abord une raison évidente de sécurité et ensuite il ne faudrait pas que, si l'on utilisait une tension relativement élevée, cette tension permette précisément de percer un point dur du système de mise à la terre au système des conducteurs de protection, ce qui conduirait à une conclusion favorable alors qu'en fait elle ne l'est pas.

Pourquoi un courant relativement important ? Pour une raison un peu analogue. A savoir que si sur un point de son parcours le conducteur de protection présente par exemple une striction ou un mauvais contact, sous un très faible courant on risquera de ne pas s'en apercevoir alors que sur un courant relativement important on peut espérer provoquer un léger échauffement et par conséquent s'en apercevoir simplement parce que l'aiguille de l'appareil de mesure ne sera pas très stable. On a voulu en quelque sorte, compléter la mesure par une épreuve.

Enfin, dans certains cas, il faudra également vérifier la section des conducteurs de protection, ceci suivant les règles de l'article 543. Ce problème se posera surtout lorsque le conducteur de protection a une section inférieure à celle des conducteurs actifs. En effet, la règle fondamentale et les indications pratiques qui sont données au tableau 54A ainsi que dans le guide permettent, lorsque la section des conducteurs de phases est supérieure à 16 mm<sup>2</sup>, de réduire la section des conducteurs de protection.

De tout ceci, pour nous résumer, nous voyons que dans les installations à schéma IT, il sera surtout question de deux mesures une mesure d'impédance de boucle d'une part, et une mesure de la tension de contact d'autre part. D'après ce que nous venons de dire, on voit qu'en pratique on pourra limiter la mesure de l'impédance de boucle, uniquement à la partie distribution de l'installation, c'est-à-dire, à la partie comprise entre l'origine et les principaux tableaux divisionnaires. Par contre, en aval, c'est-à-dire pour la partie utilisation où effectivement, d'une façon quasi-systématique, nous aurons toujours des circuits de section relativement faibles avec conducteurs de protection incorporés, il suffira de vérifier simplement la condition imposée à la tension de contact donc mesurer la résistance entre la masse considérée et le point équipotentiel le plus proche.

<b>Le contrôle des installations et la nouvelle NF C 15-100 par Edmond Vigneron, ingénieur en chef de l'Association Lyonnaise des A.P.A.V.E.</b>	N° d'ordre	: 2018-Mesures	Rév. : 0
	Classement	: Forum	
	Emetteur	: Mr VIGNERON	
	Destinataire 1	:	
	Destinataire 2	:	
	Rédigé le	: 1980	Page : 5/5
	Révisé le	: 23/11/2018	

### Le dispositif différentiel résiduel

Disons maintenant quelques mots des vérifications de l'efficacité des mesures de protection contre les contacts indirects lorsque la coupure automatique de l'alimentation est assurée par dispositif différentiel résiduel.

Dans ce cas, il suffira en fait, de vérifier que la résistance de la mise à la terre des masses est inférieure au rapport de la tension limite admissible divisée par le courant différentiel nominal.

Autrement dit, nous serons ramenés à une mesure de résistance de terre, mesure classique, qui, entre parenthèses, pourra souvent être remplacée par la mesure de la résistance de boucle masse-neutre, et ceci notamment lorsqu'il s'agit d'installation alimentée en basse tension par le réseau de distribution public et surtout en site urbain où il est extrêmement difficile de mesurer la résistance réelle d'une prise de terre. Et puis, il faudra également vérifier que le dispositif différentiel résiduel fonctionne correctement, autrement dit qu'il coupe pour un courant au plus égal au courant différentiel nominal. Ceci ne pose pas de problèmes particuliers. Il suffit par un artifice quelconque de faire passer à travers ce dispositif un courant contrôlé par une résistance et de vérifier que l'appareil déclenche pour un courant au plus égal au courant I. La mesure de la résistance des conducteurs de protection reste toutefois nécessaire, ne serait-ce que pour vérifier le bon raccordement de ces conducteurs. Elle permettra, en particulier, de vérifier que toutes les masses situées en aval d'un n<sup>ième</sup> dispositif différentiel sont bien reliées à la même prise de terre ou à un ensemble interconnecté.

En ce qui concerne la vérification des dispositifs de protection contre les surintensités, c'est un problème qui est souvent très lié, comme on vient de le voir jusqu'à présent, à la vérification des protections contre les contacts indirects. Lors de la mise en service, la vérification portera sur le pouvoir de coupure des appareils, ce qui implique là aussi l'évaluation ou la mesure des impédances de boucles par phase, c'est-à-dire permettant l'évaluation du courant de court-circuit, triphasé cette fois, et la caractéristique de fonctionnement temps-courant des dispositifs. Cette caractéristique devant être adaptée aussi bien aux conditions de protection contre les surintensités, surcharges et courts-circuits, qu'aux conditions de protection contre les contacts indirects lorsque cette dernière est assurée par des dispositifs de protection contre les surintensités c'est-à-dire dans le cas des schémas TN et IT. lors des vérifications ultérieures, il suffira bien entendu de vérifier que les calibres des coupe-circuit ou le réglage des disjoncteurs n'ont pas été modifiés.

En conclusion, nous pouvons dire que la vérification fait partie intégrante de la normalisation et de la réglementation, en ce sens qu'une règle, quelle qu'elle soit, n'a finalement de sens que si elle peut être vérifiée. Ce court exposé montre que les vérifications nécessaires seront assez complexes et représenteront, surtout lors de la vérification initiale, une charge non négligeable pour l'exploitant. Par contre, concepteur et installateur se rendront facilement compte des nombreuses ressources qui sont offertes par ces règles Facilitant une réalisation économique d'une installation de qualité. Bien sûr, à des régions plus simples qu'elles ne le sont, on aurait sans doute pu associer un schéma de vérification plus léger et moins onéreux, mais ces règles plus simples auraient été sans doute plus sévères et auraient alors conduit à un coût d'installation plus élevé. Il nous reste à espérer que le meilleur compromis possible a été trouvé.