

UN PROJET SUR LES CREUX DE TENSION ET LES COUPURES BREVES POUR REPENDRE AUX ATTENTES DES CLIENTS

J. Martinon

O. Poisson

F. DeChateauvieux

EDF - Direction des Études et Recherches

1, Avenue du Général de Gaulle – 92141 Clamart Cedex (France)

Tel : + 33.1.47.65.41.06 – Fax : + 33.1.47.65.37.86 – E-Mail : jean.martinon@edf.fr

RESUME

Un projet consacré aux creux de tension et aux coupures brèves a été mené dans le but de mieux répondre aux attentes des clients concernant la qualité de fourniture. L'objectif de ce projet est triple. Il s'agit de premièrement de mieux connaître les caractéristiques des creux et des coupures enregistrés sur le réseau aux différents niveaux de tension, la sensibilité des équipements les plus couramment installés chez la clientèle et les solutions de désensibilisation qui peuvent être préconisées. Deuxièmement, d'éclairer la politique d'Électricité de France dans le domaine de la normalisation et de la contractualisation de la qualité. Et troisièmement, de produire des outils d'information (guides techniques) et d'étude (logiciels) consacrés à ces perturbations de la tension.

1.- CONTEXTE

La satisfaction des clients est une préoccupation majeure d'EDF. Dans ce but, des efforts importants ont été entrepris depuis une quinzaine d'années pour améliorer la qualité de fourniture.

Ces efforts ont porté dans un premier temps sur la structure des réseaux (création de nouveaux postes sources), leur protection et leur mode d'exploitation (rebouclage des réseaux HTB). Ces programmes ont eu pour conséquence de diminuer notablement le nombre des coupures longues (supérieures à 3 minutes) subies par les clients, ainsi que la durée de ces coupures.

Parallèlement, le développement de nouvelles applications de l'électricité a rendu la clientèle de plus en plus sensible aux creux de tension et aux coupures brèves (durée inférieure à 3 minutes). Ces phénomènes, qui peuvent perturber les process industriels et les applications informatiques, sont aujourd'hui perçus par les utilisateurs comme les perturbations les plus gênantes.

Une enquête réalisée en 1994 a mis en évidence une forte attente des clients industriels sur ce point. En effet, 44% d'entre eux estiment que les creux de tension perturbent fortement leur activité, causant au minimum 5 arrêts de production par an, et entraînant la détérioration de matériel et des pertes de production.

Pour un distributeur soucieux de la satisfaction de ses clients, ces perturbations constituent donc un enjeu de toute première importance.

Aujourd'hui, EDF développe une approche qualité plus personnalisée, à travers le contrat « Émeraude » [1] et les services associés. Ce contrat, qui se généralise depuis 1996 auprès des clients industriels et tertiaires les plus importants prévoit, en standard, un engagement du distributeur sur le nombre de coupures brèves et longues subies par un client. En cas de dépassement des seuils contractuels (définis sur le plan national et approuvés par les pouvoirs publics), EDF dédommage le client sur la base des dégâts subis. Les clients qui le souhaitent peuvent également obtenir des engagements sur le nombre de creux de tension subis par leur installation, en négociant des seuils personnalisés.

Cependant, il n'existe pas aujourd'hui de texte normatif précis concernant les creux de tension et les coupures brèves, que ce soit sur le plan de l'immunité des appareils, de la compatibilité électromagnétique ou bien encore de la mesure des perturbations.

Par ailleurs, dans un contexte d'ouverture du marché de l'électricité, les engagements contractuels liés aux creux de tension et aux coupures brèves revêtent une importance significative.

C'est pourquoi un projet traitant de ces perturbations a été mis en œuvre par la Direction des Études et Recherches d'EDF avec un triple objectif :

- mieux connaître les caractéristiques des creux de tension et des coupures brèves enregistrés sur le réseau aux différents niveaux de tension, la sensibilité des équipements les plus couramment installés chez la clientèle et les solutions de désensibilisation qui peuvent être préconisées ;
- éclairer la politique de l'entreprise dans le domaine de la normalisation et de la contractualisation, en particulier pour préparer les évolutions du contrat « Émeraude » ;
- produire des outils d'information (guides techniques) et d'étude (logiciels) permettant aux divisions commerciales d'EDF de répondre aux attentes et aux questions des clients.

2.- UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DE L'IMPACT DES CREUX DE TENSION ET DES COUPURES BREVES

2.1.- Perturbations observées aux différents niveaux de tension

Les mesures réalisées sur les réseaux de transport et de distribution français (soit plus de 20.000 événements) ont permis d'établir une classification, en termes de durée et d'amplitude, des creux de tension et des coupures brèves observés. Les tableaux 1 et 2 indiquent les résultats obtenus en HTA et en HTB.

Tableau 1 : répartition (en %) des creux de tension et coupures brèves sur le réseau HTB

durée (s) / tension résid. (%)	> 0,05	> 0,20	> 0,40	> 0,60	> 1,00
< 80	17,2	6,5	2,5	1,8	0,9
< 75	10,8	4,1	1,4	1,0	0,6
< 70	7,7	3,0	1,1	0,8	0,5
< 50	3,3	1,1	0,6	0,4	0,3
< 30	2,5	0,7	0,4	0,3	0,3
coupures brèves	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8

Tableau 2 : répartition (en %) des creux de tension et coupures brèves sur le réseau HTA

durée (s) / tension résid. (%)	> 0,05	> 0,20	> 0,40	> 0,60	> 1,00
< 80	17,4	9,9	5,1	2,3	0,6
< 75	13,4	7,6	3,9	1,6	0,2
< 70	10,8	5,7	2,7	0,9	0,1
< 50	6,7	3,5	1,3	0,4	0,1
< 30	4,8	2,2	0,8	0,1	0,1
coupures brèves	4,5	3,7	2,2	2,1	2,1

La méthode a consisté ensuite à classer les enregistrements en fonction de la protection mise en œuvre pour éliminer le défaut.

Il s'agit de reconnaître la « signature » d'un creux de tension, en fonction du type de cette protection. Une vingtaine de profils ont ainsi été identifiés. Cette procédure permet de déterminer l'origine des creux de tension. Une première répartition a ainsi été établie pour la HTB et la HTA (cf. tableau 3).

Tableau 3 : Répartition des creux de tension mesurés, en fonction du cycle de protection mis en œuvre

cycle de protection	répartition HTB	répartition HTA
protection rapide THT	22%	9%
protection 1° stade HTB	48%	21%
protection 2° stade HTB	6%	9%
réenclenchement HTB	1%	
coupure HTB	2%	2%
réenclenchement rapide du départ		6%
réenclenchement lent du départ		3%
réenclenchement rapide - lent du départ		1%
réenclenchement rapide départ voisin		2%
réenclenchement lent départ voisin		1%
réencl. rapide - lent départ voisin		3%
rapide départ voisin ou 1° stade HTB	3%	18%
lent départ voisin ou 2° stade HTB	1%	10%
inconnu	16%	14%

Cette procédure a été validée à partir des données collectées par les divisions opérationnelles d'EDF.

2.3.- Sensibilité des matériels

Une campagne de tests a été réalisée sur différents types de matériels industriels (moteurs avec leur alimentation, entraînements à vitesse variable, climatiseur, pompe à chaleur, etc.) et tertiaires (bureautique, armoire à froid, éclairage, etc.). Les seuils de sensibilité de ces matériels ont ainsi été établis.

Quelques exemples de seuils sont donnés sur la figure 1, qui délimite la zone de sensibilité des matériels dans un plan profondeur / durée (les appareils sont perturbés en dessous et à droite de la limite).

Le seuil de sensibilité varie d'un appareil à l'autre. Schématiquement, ce seuil se situe entre 100 et 300 ms pour la durée et entre 50 et 70% de la tension nominale pour l'amplitude. Le comportement de l'appareil au-delà de cette limite est également variable : soit l'appareil redémarre automatiquement à la fin de la perturbation sans modification du fonctionnement, soit l'appareil s'arrête et doit être réinitialisé pour redémarrer.

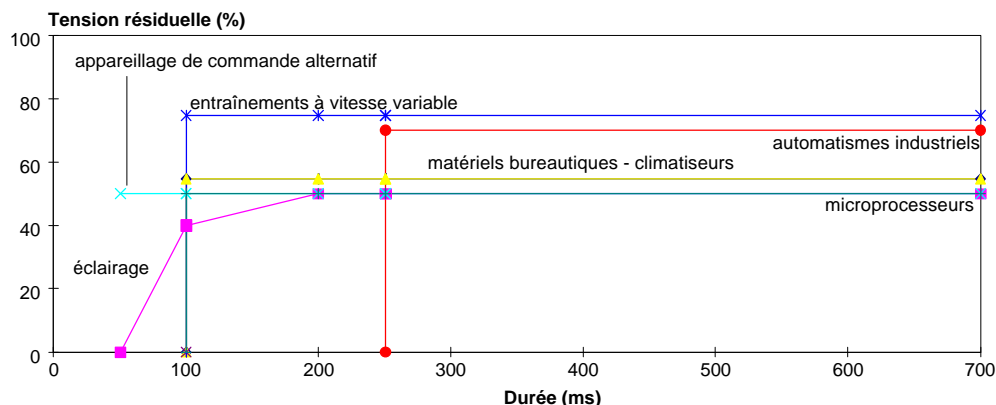


Figure 1 : Seuils de sensibilité de quelques matériels aux creux de tension

2.4.- Préjudices liés aux coupures brèves

Une enquête réalisée ces dernières années a permis d'obtenir une estimation du préjudice financier lié aux coupures brèves (cf. tableau 4).

Tableau 4 : Estimation du préjudice économique lié aux coupures brèves dans le secteur industriel

montant du préjudice	répartition des incidents ayant eu des conséquences financières
moins de 10 kF	30%
de 10 à 50 kF	35%
de 50 à 100 kF	18%
plus de 100 kF	17%

Il est à noter que tous les process ne sont pas affectés de la même façon. Les secteurs les plus sensibles sont entre autres les processus à flux tendus, l'industrie du caoutchouc et la construction électronique.

2.5.- Solutions de désensibilisation

Une collaboration avec les constructeurs de matériel a permis d'identifier les nombreuses solutions de désensibilisation proposées aujourd'hui (cf. § 4.2).

Par ailleurs, dans le cadre de l'étude des applications de l'électronique de puissance HTA et BT, une évaluation des solutions innovantes a été menée. Les dispositifs les plus prometteurs sont :

- le compensateur série, qui permet de compenser les creux de tension ;
- le compensateur parallèle, associé à un système de stockage qui permet de compenser les creux de tension et les coupures ;
- le limiteur de courant de court-circuit, qui permet de diminuer l'amplitude des creux de tension ;
- le permutateur statique qui permet de basculer d'une source d'alimentation à une autre sans provoquer d'interruption pour l'utilisateur.

Aujourd'hui, ces dispositifs innovants peuvent représenter des solutions compétitives par rapport aux solutions classiques. En effet, ils offrent des opportunités multiples dans un contexte concurrentiel :

- répondre de façon ciblée à des besoins de qualité chez les clients ;
- alimenter une offre de service pour la fidélisation des clients industriels ;
- accompagner les contrats de fourniture avec des solutions performantes et évolutives permettant de répondre aux engagements réciproques d'EDF et du client.

3.- DES PROPOSITIONS POUR LA MESURE ET LA NORMALISATION

3.1.- Des propositions d'orientations pour la normalisation

Un état des lieux des documents normatifs existants, concernant la définition et la mesure des creux de tension et coupures brèves, ainsi que l'immunité des matériels à ces perturbations a tout d'abord été réalisé. Ce bilan a démontré l'existence d'incohérences entre les différentes définitions et l'absence d'une méthode de mesure explicite, même s'il existe des spécifications indicatives pour les essais d'immunité des matériels.

Définitions - A partir de ce constat et des éléments recueillis dans le cadre des travaux décrits au § 2, il est possible de proposer de nouvelles définitions normatives du creux de tension et de la coupure.

"Pour une tension monophasée de période T, il y a creux de tension si la valeur efficace calculée sur une fenêtre temporelle (de durée multiple de T/2) est inférieure à 90 % de la tension déclarée. Il commence au début de la première fenêtre et se termine à la fin de la dernière fenêtre pour lesquelles la condition précédente est vérifiée.

Dans un système polyphasé, il y a creux de tension si au moins une tension (entre phases ou entre phase et neutre) est affectée d'un creux de tension. Il commence au moment où apparaît le creux sur la première tension affectée et se termine avec la disparition du creux sur la dernière tension affectée."

"Pour une tension monophasée de période T, une coupure est un creux de tension particulier pour lequel la valeur efficace calculée sur une fenêtre temporelle est égale à zéro.

Dans un système polyphasé, une coupure commence au moment où apparaît la coupure simultanément sur toutes les tensions et se termine avec la disparition de la coupure sur au moins une tension.

Note : Pour la mesure, on considère que la coupure commence dès que la valeur efficace de la tension est inférieure à 10 % de la tension déclarée."

Les perturbations sont définies comme une diminution de la valeur efficace de la tension par référence à un mode de mesure théorique de la valeur efficace (sur une fenêtre temporelle de durée multiple de T/2). Elles sont définies pour des systèmes monophasés et polyphasés. Les limites en termes de durée et d'amplitude doivent être précisées au niveau des engagements contractuels car elles sont liées aux caractéristiques du système électrique. Ces deux définitions sont soumises au groupe de travail 1 du comité 77 de la CEI.

Parallèlement, on introduit la notion de creux de tension à x% :

"Pour une tension monophasée de période T, il y a creux de tension à x% si la valeur efficace, calculée sur une fenêtre temporelle (de durée multiple de T/2), est inférieure à x% de la tension déclarée. Il commence au début de la première fenêtre et se termine à la fin de la dernière fenêtre pour lesquelles la condition précédente est vérifiée.

Dans un système polyphasé, il y a un creux de tension à x% si au moins une tension (entre phases ou entre phase et neutre) est affectée d'un creux de tension à x%. Il commence au moment où apparaît le creux de tension à x% sur la première tension affectée et se termine avec la disparition du creux de tension à x% sur la dernière tension affectée".

Cette notion permet de définir la façon de comptabiliser les creux de tension. Elle est proposée au niveau du groupe de travail 9 du comité 77A traitant de la normalisation des méthodes de mesure.

Méthode de mesure - Il serait souhaitable de normaliser la méthode de calcul de l'amplitude de la tension, de détection des défauts et de comptabilisation des creux de tension (cf. § 3.2). Des méthodes de regroupement des événements pourraient être proposées à titre informatif.

Immunité - Les orientations proposées concernent tout d'abord la définition des essais d'immunité. La base d'essais définie dans la norme fondamentale CEI 61000-4-11 [2] peut être complétée de la façon suivante :

- en spécifiant qu'elle correspond à des creux monophasés pour les matériels monophasés et à des creux triphasés pour les matériels triphasés ;
- en introduisant la notion de gabarit pour évaluer la sensibilité des matériels, c'est-à-dire un couple « durée, amplitude » au-delà duquel l'appareil est toujours sensible.

En effet il n'existe pas en normalisation de spécifications strictes pour les niveaux de sensibilité des matériels. Cependant, les clients sont aujourd'hui demandeurs de matériels mieux immunisés aux creux de tension. A l'opposé, on observe une certaine réticence de la part des constructeurs pour voir imposer en normalisation des niveaux d'immunité plus contraignants pour leurs matériels. L'introduction du gabarit évoqué ci-dessus représente donc un bon compromis pour répondre aux attentes des clients sans imposer des normes trop strictes.

Il est également difficile de définir des niveaux d'immunité plus contraignants pour les appareils tertiaires et domestiques. On risque cependant d'observer dans les prochaines années une augmentation de la sensibilité du secteur domestique, du fait du développement des appareils munis d'un programmeur électronique, appareils relativement sensibles et qui nécessitent une intervention extérieure pour être relancés.

3.2.-Une méthode de mesure des creux de tension

Une méthode de mesure des creux de tension comprend typiquement plusieurs modules (cf. figure 2) :

- ◇ le calcul de l'amplitude de la tension ;
- ◇ la détection du creux de tension ;
- ◇ la comptabilisation des creux et des coupures.

Pour chaque étape, différentes méthodes ont été identifiées. L'étude a consisté ensuite à :

- ◇ évaluer les écarts entre les différentes méthodes ;
- ◇ relier les résultats fournis à la sensibilité des matériels en réalisant des essais d'immunité sur des équipements en service chez la clientèle domestique, tertiaire et industrielle ;
- ◇ comparer ces méthodes à celles implantées dans les appareils de mesure (existants ou en cours de développement) et à celles préconisées par les organismes de normalisation ;
- ◇ déterminer l'impact de chaque méthode de mesure sur le nombre de dépassements des seuils contractuels.

Les travaux ont abouti aux conclusions suivantes :

- L'indicateur retenu pour le calcul de l'amplitude de la tension est la valeur efficace. Celle-ci doit être calculée avec une résolution temporelle d'une demi - période, entre deux passages par zéro. La précision sur la durée de la perturbation est ainsi suffisante, cette durée étant de l'ordre d'une centaine de millisecondes. Le calcul est réalisé sans filtrage des harmoniques.
- La détection d'un défaut se fait par rapport à un seuil fixe.
- La méthode de comptabilisation des creux de tension et des coupures consiste à comparer au seuil la valeur efficace de la tension de chaque phase. Il est cependant nécessaire de faire la distinction entre creux de tension et coupures en amont du traitement. La notion de « creux de tension à x% » est relativement représentative de la sensibilité des matériels car en général il est possible de définir un seuil en durée et en amplitude au-delà duquel l'appareil est toujours sensible. Elle s'applique enfin de façon identique dans un système monophasé et polyphasé, pour des tensions simples et des tensions composées.
- La seule méthode de caractérisation du défaut triphasé et de l'événement monophasé équivalent pouvant être retenue est la durée enveloppe et l'amplitude minimale, sachant qu'aucune des méthodes n'est représentative de la sensibilité des matériels et ne doit donc être préconisée pour la comptabilisation des événements.
- Les méthodes de regroupement possibles sont les suivantes :

1. Deux creux de tension successifs sont regroupés si la durée qui les sépare est inférieure à 100 ms. La durée équivalente est égale à la somme des durées de chaque creux de tension.
2. Deux coupures successives sont regroupées. En effet les appareils sont en général sensibles dès la première coupure. La durée équivalente est égale à la somme des durées de chaque coupure.
3. Les enchaînements creux - coupures, sans rétablissement de la tension, sont équivalents à une coupure, quelle que soit la durée de la coupure. En effet, si l'appareil n'est pas sensible à la coupure, il le devient du fait de l'enchaînement. La durée équivalente est égale à la somme des durées de chaque perturbation.

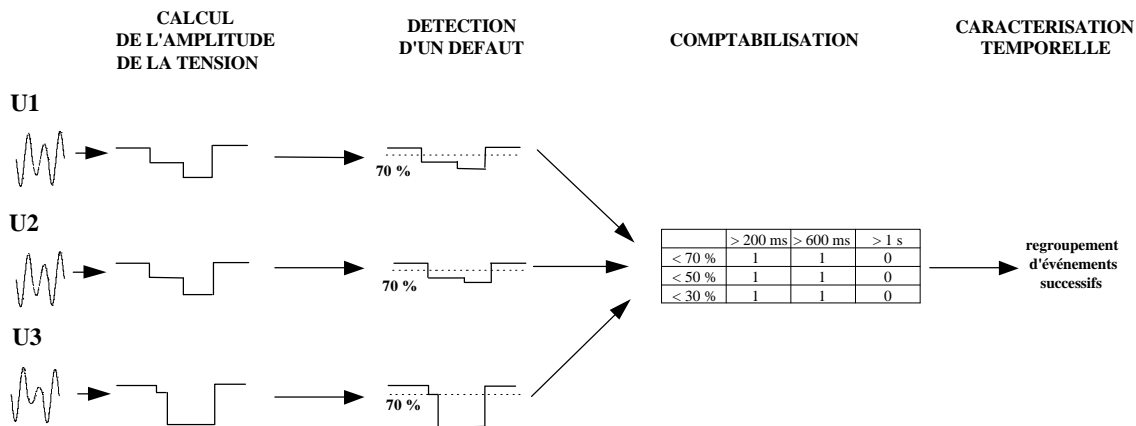


Figure 2 : Principe d'une méthode de mesure des creux de tension

4.- DES OUTILS D'INFORMATION ET D'ETUDE

4.1.- Guide d'informations sur les creux de tension et les coupures brèves

Un guide d'information sur les creux de tension et les coupures brèves a été rédigé. Ce document s'articule en deux parties :

- une présentation générale (sur une dizaine de pages) du problème des creux de tension : Qu'est ce qu'un creux de tension ? Pourquoi des creux de tension sur le réseau ? Quels sont les effets sur le matériel ? Quelles sont les solutions sur le réseau ? Quelles sont les solutions chez le client ?
- des fiches plus techniques sur les thèmes suivants : la structure du réseau aux différents niveaux de tension, le plan de protection HTB et HTA, l'impact des creux de tension et des coupures brèves chez un client HTB ou HTA, les matériels industriels et tertiaires sensibles, les actions pour limiter la génération des creux de tension et des coupures brèves sur le réseau du distributeur, les solutions pour limiter les chutes de tension induites par l'installation d'un client, les solutions chez le client pour se prémunir contre les creux de tension et les coupures brèves.

Ce document à usage commercial a été édité en 12000 exemplaires. Il permettra aux divisions commerciales d'EDF de sensibiliser les clients industriels et tertiaires aux problèmes de creux de tension et de coupures brèves et de les informer sur les solutions qu'ils peuvent mettre en place pour se prémunir.

4.2.- Guide d'orientation pour la désensibilisation des installations électriques aux creux de tension et aux coupures brèves

Ce guide a été rédigé en collaboration avec les constructeurs de dispositifs de compensation et avec quelques sociétés d'ingénierie. Ce document est constitué de la façon suivante.

- il comprend une partie principale qui fournit les informations essentielles sur le problème de la désensibilisation aux creux de tension et aux coupures brèves : description d'une démarche de désensibilisation, façon d'aborder un prédiagnostic, présentation des solutions de désensibilisation, exemples de désensibilisation d'équipements industriels et tertiaires, existants ou futurs.
- cette partie principale est accompagnée d'annexes techniques sur les thèmes suivants : principe de la désensibilisation, désensibilisation totale à partir de solutions à réserve d'énergie (onduleur (ou ASI), groupe tournant, batteries, etc.), solutions de désensibilisation spécifiques aux équipements industriels, études de cas.

Ce document à usage technique a été édité en 500 exemplaires. Son objectif est de fournir les informations techniques pour identifier les problèmes existants ou futurs liés aux creux de tension et aux coupures brèves et les solutions de désensibilisation proposées aujourd'hui par les constructeurs. Il est destiné en priorité aux personnes chargées de la réalisation des diagnostics, en particulier

dans le cadre de la mise en place du contrat « Émeraude », pour répondre aux besoins des clients industriels et tertiaires.

4.3.- Un logiciel de prédétermination des creux de tension

Le prototype d'un logiciel permettant de prédéterminer le nombre de creux de tension et de coupures brèves susceptible d'apparaître sur un réseau de distribution HTA arborescent a été réalisé.

Le logiciel utilise comme données d'entrée le type et les caractéristiques des éléments du réseau électrique (qui peuvent être extraits des bases de données réseau d'EDF), les défauts subis par le réseau et les dispositifs de protection installés. Des valeurs par défaut sont proposées pour chacun de ces paramètres.

Les résultats fournis par le logiciel sont des tableaux synthétisant le nombre de coupures par classe de durée et le nombre de creux de tension par classes de durée et de profondeur. Ces tableaux sont présentés pour un sommet donné du réseau HTA, pour un départ, pour un sous - départ ou bien encore pour un ensemble de départs.

Ce logiciel devrait permettre de calculer le nombre de coupures et de creux de tension prévisibles en tout point du réseau, de prédire les conséquences liées au raccordement d'un nouveau client ou d'un développement de réseau ou encore d'optimiser un schéma de consignation. Cet outil est actuellement en phase d'expérimentation.

5.- CONCLUSION

Un projet consacré aux creux de tension et aux coupures brèves a été mené, de 1996 à 1998, dans le but de mieux répondre aux attentes des clients sur la qualité de fourniture. Les principaux acquis techniques de ce projet sont les suivants :

- mise au point d'une méthode de mesure des creux de tension et des coupures brèves, basée sur le calcul de la valeur efficace de la tension et consistant à comptabiliser les creux de tension en appliquant un seuil sur la valeur efficace de chaque phase ;
- élaboration de propositions pour la normalisation en termes de définition, de méthode de mesure et d'immunité des matériels aux creux de tension et aux coupures brèves ;
- détermination du seuil de sensibilité de quelques matériels industriels et tertiaires afin de préciser les orientations qui pourront être prises en terme de contractualisation entre un client et EDF.
- rédaction de guides d'information et d'orientation afin de sensibiliser les clients aux problèmes de creux de tension et coupures brèves et d'aider les services

techniques dans la réalisation d'un prédiagnostic pour répondre à un problème de perturbation d'un client ;

- développement d'outils logiciels pour la caractérisation et la prédétermination des creux de tension et des coupures brèves sur le réseau HTA ;
- identification des solutions novatrices en termes de désensibilisation aux creux de tension.

Sur la base de ces résultats, EDF peut aujourd'hui :

- expérimenter le logiciel de prédétermination des creux de tension et des coupures brèves sur les réseaux HTA.
- proposer au niveau des différents organismes de normalisation, en particulier de la CEI (SC77 - WG1 et WG9, SC77A - WG8), les orientations retenues pour la définition et la mesure des perturbations, ainsi que pour l'immunité des appareils.
- poursuivre plus efficacement les travaux engagés dans le domaine de l'insensibilisation aux perturbations et préciser l'offre actuelle en matière de nouveaux dispositifs de compensation des creux de tension et des coupures brèves. Il s'agit plus particulièrement d'évaluer le marché potentiel pour ces équipements chez les clients et sur le réseau EDF, et de réaliser une expérimentation sur un site pilote. EDF envisage de développer une offre de service autour de ces équipements, qui permettrait de fidéliser les clients et d'élaborer une stratégie de service « qualité ».

6.- REFERENCES

- [2] Contrat « Émeraude »
« Contrat pour la fourniture d'énergie électrique au tarif vert »
1992, Électricité de France
- [2] Rapport technique CEI 61000-4-11
« Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations de tension »
1994, Commission Electrotechnique Internationale