

RESEAUX ENTERRES DU FUTUR QUELLE FIABILITE ASSOCIER AUX APPAREILLAGES ?

Mireille MORAZZANI – Jean-Marc BOYER
ALSTOM T&D STC

1340 Rue de Pinville – La Pompignane
Tél : + 33 04 67 02 95 70 – Fax : + 33 04 67 02 95 72 – E-mail : jeanmarc.boyer@tde.alstom.com

RESUME

La politique d'EDF en matière de distribution d'énergie électrique en zone rurale, associe la réduction du nombre de coupures au respect de l'environnement et au maintien de la sécurité. Ceci a conduit à la prescription de nouveaux appareillages de coupure dont la fiabilité a un impact d'autant plus important qu'ils se situent aux points clés du réseau enterré.

Le niveau élevé de performance et l'étroitesse du marché se sont conjugués pour rendre encore plus difficile le pari technico-économique à surmonter.

La solution ALSTOM a consisté à réutiliser des composants, développés et qui sont en service depuis plus de 10 ans et à les réassocier dans un contexte adapté au nouveau besoin.

Le calcul de fiabilité a procédé de la démarche suivante:

-AMDEC produit pour étudier le comportement des composants dans le nouveau contexte,

-Calcul de fiabilité basé sur le retour d'expérience des composants installés,

-Prévision du comportement du nouveau produit par analyse comparative des fonctions spécifiées et identiques dans les composants existants et le nouveau produit.

Cette étude confirme bien que pour des marchés d'importance modeste, la solution réside dans la combinaison de produits et procédés existants dont la fiabilité est quantifiable.

INTRODUCTION

Les réseaux souterrains

L'accroissement du réseau de distribution électrique secondaire en zones rurales et suburbaines répond à la couverture d'un besoin croissant. Face à ce besoin, la volonté politique d'EDF s'est orientée vers les réseaux souterrains pour des raisons essentiellement liées à l'environnement. En effet, les contraintes environnementales s'imposent de nos jours, à tous les niveaux : Etats, collectivités, entreprises, personnes humaines...[1], [2]

De plus, les réseaux souterrains présentent l'avantage évident de supprimer les défauts transitoires que l'on retrouve sur les lignes aériennes soumises aux aléas dus à leur localisation en extérieur : Végétation, intempéries...

A l'origine, l'inconvénient majeur des réseaux souterrains était leur surcoût dû aux conditions de prix d'enfouissement des câbles et à l'absence de matériel de coupure réellement adapté à cette nouvelle structure de réseaux.

Les machines de pose performantes ont permis de mettre en place le câble MT en zones rurales à des conditions de prix compétitives. Pour maîtriser les coûts, il restait à définir et à développer les appareils de coupure adaptés, notamment les armoires de coupure qui permettent de tronçonner l'ossature, d'indiquer le passage de défaut et selon le cas de raccorder une dérivation.[3]

Les quantités

Malgré l'importance de l'accroissement des réseaux ruraux en France, le nombre total de ces derniers reste limité par rapport au nombre de réseaux urbains.

Par conséquent l'implantation sur les ossatures des appareillages de coupure conduit à de faibles quantités.

Esthétique

Sur les réseaux souterrains, l'accès ergonomique aux organes de manœuvre conduit à positionner les armoires de coupure hors sol.

De ce fait, leur impact en ce qui concerne l'environnement doit être pris en compte, et plus particulièrement dans ce cas la notion d'esthétique.

Ces deux dernières données :

- Quantités faibles
- Esthétique

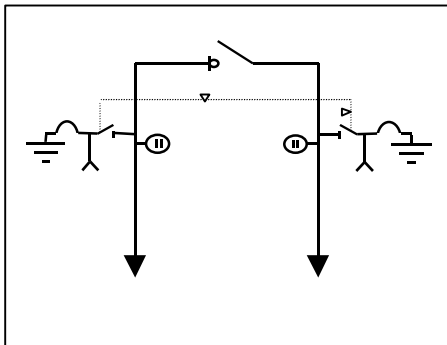
ont été les axes directeurs des choix qui ont permis d'initier la solution Alstom.

DESCRIPTION DU PRODUIT

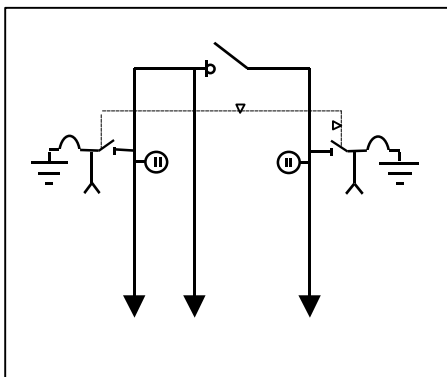
L'appareil de coupure qui a été développé s'intègre dans un poste de petite dimension.



Compte tenu des constats et des enjeux évoqués précédemment, l'appareil de coupure a été décliné en 2 versions :



- ACM : Interrupteur sectionneur manuel avec mise à la terre amont et aval.



- ACMD : Interrupteur sectionneur manuel avec mise à la terre amont et aval et dérivation.

Généralités

Ce poste conforme à la HN 64-S-49 se compose :

- D'un appareillage de coupure moyenne tension,
- D'un ou de deux détecteurs de défauts
- D'une enveloppe préfabriquée monobloc dont la partie enterrée constitue la fosse à câbles.

L'appareillage de coupure

Cet appareillage de coupure fonctionne indifféremment sur les réseaux 15kV ou 20kV. Il est conforme à la spécification HN 64-S-42. Il s'agit d'un appareillage sous enveloppe métallique du type compact. Il est constitué d'une cuve métallique, selon CEI 298, étanche, remplie sous pression de SF6 (0.45bars), contenant :

- Un interrupteur MT d'intensité assignée 400A (Selon CEI 265-1),
- Deux sectionneurs de terre (En amont et en aval de l'interrupteur),
- Une dérivation d'intensité 400A, dans le cas de la version ACMD,
- Un dispositif d'injection de courant destiné à la recherche des défauts d'isolement des câbles,
- 2 commandes pour manœuvrer manuellement,
- Deux jeux de traversées embrochables de 400A pour la version ACM et 3 jeux pour la version ACMD.

Ces composants sont associés en tenant compte des risques potentiels liés à un tableau MT :

- Protection contre l'arc interne,
- Sécurité des indicateurs de position,
- Pouvoir de fermeture sur court-circuit des sectionneurs de terre,
- Meilleure tenue à l'environnement climatique,
- Utilisation de commandes mécaniques simples, robustes et sans entretien,
- Suppression des isolements dans l'huile.

Caractéristiques assignées

- Type de cellule	Compact
- Tension assignée	24kV
- Tension de tenue assignée à fréquence industrielle durant 1 mn	50kV/50Hz
- Tension de tenue assignée aux chocs de foudre	125kV
- Tension de service	20kV
- Courant assigné en service continu	
Circuit de l'ossature HTA	400A
Circuit dérive	400A
- Courant de courte durée admissible assigné	12,5kA/1s efficace
- Courant de défaut interne	8 kA/0,7s
- Courant de court-circuit homopolaire	2 kA/0,7s
- Pouvoir de fermeture assigné	31,5kA crête
- Fréquence assignée	50Hz
- Degré de protection	cuve enveloppe externe
	IP 62 IP 2X

Caractéristiques de fiabilité

EDF s'est engagée à assurer une meilleure continuité de service. Ceci impose donc une maîtrise accrue de la qualité et de la fiabilité des équipements électriques.

Il est important de déterminer la responsabilité de chaque élément du réseau sur la qualité de service vue par le client.

La garantie de service est assurée sur le réseau de différentes façons en obtenant le meilleur compromis entre

l'impact en clientèle de chaque coupure et le coût économique des matériels installés.

En ce qui concerne les postes sources, pour assurer la garantie de service, EDF a choisi la redondance de protection, disjoncteurs et relayages. Sur le réseau MT, à l'aval des postes sources, c'est l'alimentation en boucle ou double dérivation qui fournit la redondance nécessaire à la qualité de service. Sur les artères de ce réseau, il n'y a plus de redondance économique possible, c'est pourquoi, l'exigence de fiabilité est directement reportée sur l'appareillage de coupure lui-même. [2]

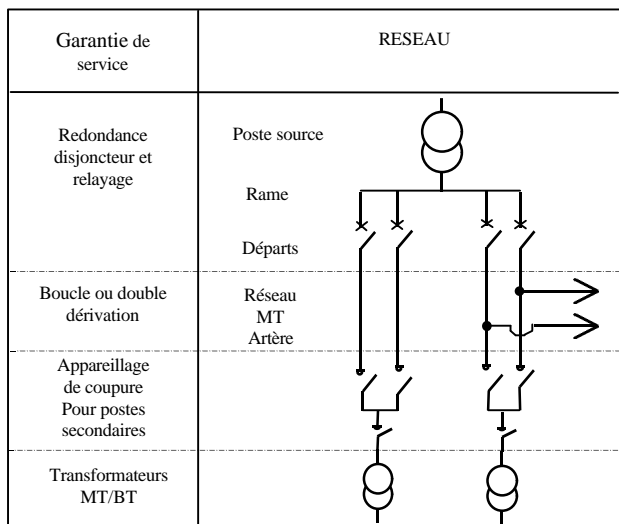


Schéma de la distribution sur le réseau

ETUDE DE FIABILITE

Introduction.

EDF impose aux constructeurs de présenter une étude de fiabilité ; la méthode AMDEC est généralement utilisée. Alstom, pour cela, s'est basé sur le guide de réalisation d'une AMDEC pour appareillage HTA (HM2494065A). [4]

La première étape a d'abord été de créer un groupe de travail pluridisciplinaire comprenant des représentants des services technique, marketing, commercial, qualité, méthodes, achats et fabrication. Le calendrier des séances de travail hebdomadaire a été défini ainsi que les thèmes abordés au cours de ces séances. Cette étude a été planifiée pour être conduite durant la période de pré-industrialisation du produit qui s'est déroulée sur 6 mois. De façon à être pragmatique, l'étude a été menée en prolongeant chaque réflexion de l'AMDEC produit par un examen des moyens de fabrication associés et éventuellement des précautions à prendre en compte pour la mise en œuvre de ces moyens.

Etude qualitative

Mise en œuvre La solution ALSTOM a consisté à réutiliser des composants qui existent et sont en service

depuis plus de 10 ans et à les réassocier dans un contexte adapté au besoin.

L'analyse fonctionnelle du produit nous a conduit à pouvoir traiter toutes les fonctions réalisées par des composants existants en rajoutant les fonctions particulières liées à cet appareillage :

- Assurer le transport d'énergie dans le cadre de l'artère et de la dérivation
- Etablir le courant de service
- Etablir la mise à la terre
- Assurer la coupure du câble d'artère
- Permettre la recherche de défauts
- Permettre l'indication de présence de tension
- Assurer la sécurité de l'exploitant et du voisinage, une fois intégré dans son poste
- Assurer une esthétique acceptable

De ces grandes fonctions, sont issus les grands éléments :

- Traversées de courant Composants existants
- Jeux de barres Composants adaptés
- Interrupteur Composant existant
- Mécanismes de manœuvre Composants existants
- Organes de mise à la terre Composants existants et adaptés
- Traversées d'injection Composants existants
- Indicateur de présence tension Composant existant

Dès l'instant où les fonctions ont été définies, nous avons listé les risques potentiels de défaillance associés à ces fonctions qui sont dénommés évènements redoutés :

- Coupure non désirée
- Coupure non réalisée
- Mise sous tension non voulue
- Refus de mise sous tension de l'aval
- Risques pour les opérateurs
- Aval inutilisable
- Risque de destruction totale du tableau
- Tableau inopérant
- Mise à la terre des cellules sous tension
- Impossibilité d'accès aux câbles
- Déclenchement des protections hors tableau
- Mise à la terre non voulue

L'étude s'est poursuivie par l'établissement du tableau 1, récapitulatif de toutes les manœuvres possibles : Combinaison de toutes les positions "ouvert" et "fermé" pour l'interrupteur, les 2 mises à la terre et prise en compte des verrouillages associés interdisant l'occurrence des évènements redoutés.

Tableau 1 : Validité des manœuvres

Man.	Interrupteur		Malt 1		Malt 2		
a	O	→	F	F	O	F	O
b	F	→	O	F	O	F	O
c	F		O	O	→	F	F
d	F		O	O	←	F	F
e	F		O	O	→	F	O
f	F		O	O	←	F	O
g	F		O	F		O	→
h	F		O	F		O	←
i	F		O		O	O	→
j	F		O		O	O	←

Man. : Manœuvre → Action de la manœuvre
Etat : F : Fermé, O : Ouvert, F : Verrouillé

Chaque manœuvre conduit à un état statique, le tableau 2 récapitule les états statiques possibles des organes actifs : L'interrupteur, les deux mise à la terre et les deux barrettes d'injection.

Tableau 2 : Etat interrupteur et malt

Etat	Position (0=inactif-1=actif)						Position		Etat		
	Inter.		Malt 1		Malt 2		0=ouvert	1=fermé	Sign.	Inj.	
	F	O	F	O	F	O	bar1	bar2	possible		
A	1	1	0	0	1	0	1	1	X		
	2										
	3										
	4										
B	1	0	1	1	0	1	0	1	X		
	2									X	X
	3									X	X
	4									X	X
C	1	0	1	1	0	0	1	1	X	X	
	2										
	3										
	4									X	X
D	1	0	1	0	1	1	0	1			
	2										
	3									X	X
	4									X	X
E	1	0	1	0	1	0	1	1	X		
	2										
	3										
	4										

Inter. :Interrupteur
Sign. :Significatif
bar. :Barrette d'injection
Inj. :Injection

Ces deux tableaux ont permis de préciser, pour chaque élément constitutif du produit, dans chaque fonction, les manœuvres possibles et les états atteints puis de les relier aux évènements redoutés.

Cette analyse approfondie a permis à chacun des membres du groupe de travail de connaître le comportement de chaque élément et de définir un référentiel commun. Cette démarche préliminaire à l'établissement du tableau AMDEC, est nécessaire pour mener une réflexion homogène et consensuelle qui peut être appliquée, par la suite, sur chaque composant du produit.

Le tableau AMDEC. Le tableau AMDEC reprend les colonnes préconisées dans le guide EDF. En particulier, en ce qui concerne les listes des " modes de défaillances " et des " causes de défaillance ", ceci pour être homogène avec le prescripteur et parce que ces listes se sont révélées, à l'usage, pertinentes et exhaustives, pour l'appareillage MT traité.

Sans chercher à décrire la mise en œuvre de la méthode AMDEC, on trouvera, ci-dessous, colonne par colonne, une ligne concernant un des éléments de l'organe de mise à la terre, le palier :

- Fonction : Assurer le guidage et/ou le maintien des organes de coupure, d'isolement, de connexion et/ou de transmission. Cette fonction est remplie lors de la manœuvre de a→j (Voir tableau 1).
- Mode de défaillance : " Ne fonctionnement pas au moment prévu (non-réponse à la sollicitation)"
- Cause de défaillance : Vibrations
- Effet local : Desserrage de la liaison boulonnée
- Effet final : Arc interne (Provoqué par la chute du rotor)
- Entretien préventif : Non applicable

- Facteur d'incertitude de fiabilité : Procédé éprouvé
- Occurrence de la défaillance : 3 (rare)
- Niveau de gravité de la défaillance : 7 (catastrophique)
- Criticité de la défaillance : 21 (3X7)
- Evènement redouté : Arc interne.

La dernière colonne du tableau AMDEC est réservée pour noter les actions à mener pour diminuer la criticité des défaillances.

Dans notre cas, la liaison boulonnée a été remplacée par une liaison rivetée ramenant la cotation à :

- Occurrence de la défaillance : 1 (exceptionnel)
- Niveau de gravité de la défaillance : 7 (catastrophique)
- Criticité de la défaillance : 7 (1X7)
- Evènement redouté : Arc interne.

L'évènement redouté reste l'arc interne mais la criticité est nettement diminuée.

Etude quantitative

Introduction. Les paramètres prépondérants sont la qualité de service et la sécurité des personnes. Les risques potentiels liés à ces paramètres sont ceux qui seront quantifiés

Par conséquent, on ne cherchera pas à déterminer le taux de défaillance du produit que l'on obtiendrait en partant de la définition générale de la défaillance : " Evènement empêchant un dispositif d'assurer normalement les fonctions pour lesquelles il a été conçu " ; mais à évaluer le taux de défaillance de l'appareil complet par rapport aux différents types de défaillance prescrits par la spécification EDF :

Tableau des caractéristiques de fiabilité

Caractéristique ou fonction	Valeurs des niveaux de fiabilité de référence (Taux de défaillance)
Défauts internes à un tableau	1X10 ⁻⁷ par heure de fonctionnement (pour chaque tableau)
Fuite d'un système à pression scellé	0,3X10 ⁻⁷ par heure de fonctionnement (pour chaque enveloppe de tableau)
Refus d'ouverture ou de fermeture d'un interrupteur sectionneur ou d'un sectionneur de terre	0,6 X10 ⁻⁷ par heure de fonctionnement (pour chaque tableau)
Indicateur de présence de tension	0,5X10 ⁻⁸ par heure de fonctionnement (pour chaque UF équipée)

On peut noter que les exigences de fiabilité sur l'armoire de coupure sont particulièrement importantes. En effet, de par sa position sur le réseau, cet appareillage ne bénéficie pas de redondance de protection.

La partie liaison MT n'est pas prise en compte dans ces critères qui ne concerne que l'appareillage lui-même. Mais la conception a été faite de telle façon que le raccordement puisse être exécuté en évitant l'altération des câbles : grand rayon de courbure pour les câbles, place suffisante pour que l'opérateur puisse entrer dans l'enveloppe.

Méthodologie. Pour chacune des évaluations, il a été considéré que l'élément défaillant entraînait la défaillance de l'appareil complet, c'est à dire que les différents éléments constituant l'appareil sont en série. ($\lambda = \sum_i \lambda_i$).

Pour cette étude, la base de données utilisée était composée d'enregistrements :

- Concernant des défaillances de produits similaires, équipés des composants identiques: Appareil type compact composé de trois unités fonctionnelles (Fluokit C),
- Couvrant une durée de service de 4 ans.

Cette base était représentative dans la mesure où elle concernait 12650 appareils soit environ 38000 unités fonctionnelles.

Sans indication de date particulière de mise en service des appareils, une durée moyenne de fonctionnement de 2 ans a été choisie. Cette durée de fonctionnement, combinée aux nombres d'appareils puis au nombre d'unités fonctionnelles, a permis d'estimer le nombre d'heure de fonctionnement cumulé, pour les appareils et pour les unités fonctionnelles.

Les défauts recensés ont été classés par catégorie de défaillance puis comptabilisés. Le nombre d'incidents par type de défaillance rapporté au nombre d'heures cumulées donne le taux de défaillance de la catégorie.

Après avoir obtenu les taux de défaillance des matériels installés, le parallèle a été fait avec notre appareillage dans chaque catégorie de défaillance. L'impact des modifications sur les défaillances a été vérifié.

Compte tenu que les fonctions présentes sur les matériels installés sont identiques à celles présentes sur notre appareillage, et que l'adaptation ne modifie pas le contexte d'exploitation, les facteurs d'influence sont donc les mêmes et les taux de défaillance peuvent être applicables à notre appareillage.

Ceci est valable excepté pour le critère d'étanchéité. En effet, la cuve de l'appareillage développé présente des différences notoires par rapport à celle des matériels installés :

- La forme, la longueur de soudage, le chemin de soudage et le procédé de soudage, lui même,
- Le nombre d'éléments traversant, la longueur de joints d'étanchéité.

Les longueurs des liaisons étanches (Soudures ou joints) ont été mesurées et comparées. Elles étaient inférieures sur le nouvel appareillage.

De plus le procédé de soudage industrialisé, appliqué à cet appareillage, permet d'obtenir de meilleurs résultats.

Par conséquent, les résultats de fiabilité obtenus pour le critère d'étanchéité ne peuvent pas être dégradés du fait de ces différences.

CONCLUSION

En guise de conclusion, 5 points méritent d'être soulignés :

- L'absence de redondance des fonctions associée à l'objectif de zéro défaut global vu par le distributeur conduit à la spécification de λ faibles.

- Le calcul de la fiabilité prévisionnelle est toujours un exercice difficile ; ses résultats sont d'autant plus crédibles lorsqu'ils s'appuient sur des bases de données existantes et/ou un retour d'expérience dont la population est représentative : grandes quantités et composants identiques.

- La fiabilité prévisionnelle appliquée à des matériels de réseaux est aujourd'hui quantifiable ceci grâce à l'utilisation de méthodes simples et efficaces comme l'AMDEC, l'utilisation de bases de données, des retours d'expérience et quelques hypothèses simplificatrices. Des progrès restent toutefois à accomplir pour tenir compte des systèmes dormants.

- Cet exercice pratiqué seul peut faire appel à des idées préconçues ou à des intuitions ; l'utilisation de la méthode AMDEC conduite par un groupe pluridisciplinaire permet d'être exhaustif sur la totalité des fonctions à réaliser et des risques associés, la notation pondérée élimine les traces de subjectivité et d'idées reçues.

- La pratique de cette méthode est un outil efficace dans l'apprentissage de la connaissance du produit, la formation technique des participants et leur enrichissement mutuel. D'autant plus utile que les difficultés ultérieures en production pourront être résolues en se référant aux résultats de l'étude.

REFERENCES

- [1] JL Lapeyre, " Editorial ", in EDF-GDF Vouloir Savoir, 1995, n°52, p.1.
- [2] P.Bonifaces et J.Ferré, " Structure des réseaux HTA ruraux ", in EDF-GDF Vouloir Savoir, 1995, n°52, p.2.
- [3] A. Croguennoc et Y. Lavagne, " La sureté de fonctionnement de la partie MT des postes sources", in Table ronde SEE, 1991, pp. 103-114.
- [4] JL.Farges et P.Bonifaces, " Structure des réseaux HTA ruraux ", in EDF-GDF Vouloir Savoir, 1995, n°52, p.1
- [5] G. Sonzogni, " HM-24/94/065/A, guide de réalisation d'une AMDEC pour appareillage HTA", in EDG-GDF documentation, 1994.
- [6] G.ChROUTE, " Les principes de la fiabilité prévisionnelle dans l'automobile ", in Table ronde SEE, 1991, pp. 20-29.
- [7] G.Lesueur, " Un exemple aux automobiles Peugeot", in Table ronde SEE, 1991, pp. 93-102.