

Approche semi-Markovienne pour la diminution du Temps Equivalent Coupure (TEC)

Omar Maïga A., Aidli A., Aissani D. et Medjoudj R.

lamos_bejaia@hotmail.com

Résumé L'objet de cette communication est de diminuer le temps équivalent coupures (TEC) dans un réseau électrique de distribution. C'est un paramètre très important de la norme ISO. Il est étroitement lié à la fiabilité du réseau puisqu'il fait intervenir le temps de coupure. Il s'agit d'élaborer un plan de maintenance adéquat pour chaque départ en se basant sur une nouvelle approche d'évaluation des indices de fiabilité à savoir, le modèle de Weibull Markov ; puis de proposer des actions en vue de la diminution de ce paramètre.

Une application au réseau 60/30 Kv de Béjaïa (Algérie) a été réalisée.

Mots clés : Fiabilité électrique, Indice de fiabilité, Modèle semi-Markovien, Modèle de Weibull-Markov, Distribution de la durée d'état, TEC (Temps Équivalent Coupure).

1.1 Introduction

Les nouvelles règles du marché appellent non seulement des innovations technologiques, mais également une adaptation des technologies existantes. Pour garder son image et assurer la qualité de service, la Société Algérienne de l'Electricité et de Gaz, Sonelgaz a mis en œuvre un contrat de performance ayant pour objectif principal d'atteindre les normes internationales à l'horizon 2005. Il s'agit notamment d'atteindre les performances suivantes : [9], [5] :

- Pertes d'électricité : moins de 10% ;
- Nombre d'incidents par 100 Km : moins de 4 ;
- Nombre d'ouvertures disjoncteurs par 100 Km : moins de 60 ;
- Avaries transformateurs : moins de 0.80 ;

Pour cela, il suffit de réduire le TEC (Temps Equivalent Coupure) au plus à 5 heures. Ceci va non seulement permettre d'atteindre les normes *ISO*, mais également de diminuer le taux de perte. En effet ce taux de perte est un problème majeur de Sonelgaz malgré les efforts fournis.

Le TEC est étroitement lié à la fiabilité du réseau puisqu'il fait intervenir le temps de coupure. En effet, nous nous intéressons à ce paramètre parce qu'au-delà de la réduction du TEC, il permet la réduction du CAIFI, CAIDI, SAIDI et SAIFI [1]. Nous faisons abstraction des autres paramètres tels que la puissance installée, la puissance mise à disposition et l'énergie vendue ; car ce sont des paramètres liés plus ou moins aux effets de coupures.

La théorie de la fiabilité a pour objectif l'étude de la probabilité de défaillance d'un système. Elle revêt un intérêt tant sur le plan économique et scientifique que sur le plan technique et industriel. Elle est étroitement liée aux notions de sécurité de fonctionnement, de qualité, d'efficacité et de performance [3], [4].

1.2 Présentation du réseau MT/BT de Béjaïa

Le réseau sur lequel porte notre étude est constitué de dix départs (Ville1, Ville2, Ville3, Zone1, Tichy, Zone2, SOPEG, SNIB, Elkseur, ENCG). Toutes les interruptions dont la durée est supérieure à 2 minutes sont répertoriées dans une Fiche Interruptions Électriques (FIE). Lors d'une interruption, la recherche de défaut se fait d'abord par la détection du segment en défaut, puis la localisation de l'endroit du défaut.

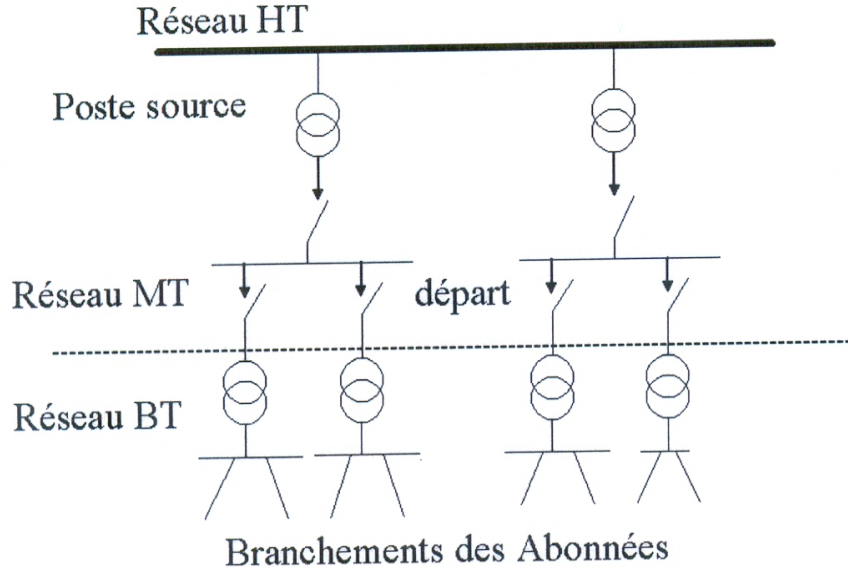


FIGURE 1.1. Présentation du réseau

1.3 Temps Equivalent Coupure et indice de fiabilité

Le TEC est un paramètre très important de la norme ISO qui se calcule par la formule suivante [2] :

$$TEC = \frac{(M * Ev_{MT} + B + Ev_{BT})}{(Ev_{MT} + Ev_{BT})} \quad (1.1)$$

Il fait intervenir plusieurs autres paramètres tels que :

- Ev_{MT} : Energie MT vendue pendant cette période ;
- Ev_{BT} : Energie BT vendue pendant cette période ;
- $M = \sum_{i \geq 1} \frac{P_{mdi} * T_i}{P_{MD}}$ avec :
- P_{mdi} : Puissance mise à la disposition des clients MT coupés pour chaque coupure i ;
- T_i : Temps de coupure de chaque client MT pour chaque coupure i ;
- P_{MD} : Puissance mise à disposition totale des clients MT de l'agence ou du centre ;
- $B = \sum_{i \geq 1} \frac{P_{ii} * T_i}{P_I}$ avec.
- P_{ii} : Puissance Installée des postes MT/BT pour chaque coupure i ;
- T_i : Temps de coupure de chaque client BT pour chaque coupure i ;

- P_I : Puissance totale installée des postes : MT/BT alimentant l'agence ou le centre.

Réduire le TEC revient à réduire les deux paramètres M et B. Du fait que : $E_{V_{MT}}$, $E_{V_{BT}}$, P_{mdi} , P_{MD} , P_{ii} et P_I sont des valeurs fixées, cela revient à réduire le temps d'interruption totale de chaque abonné. En d'autre terme, augmenter le temps de bon fonctionnement des départs alimentant chaque abonné ; donc apprécier sa fiabilité.

1.4 La méthode de Weibull Markov

Elle est basée sur l'application d'une approche semi-Markovienne (modèle de Weibull Markov). C'est un modèle qui utilise le même principe que celui de Markov sauf que la distribution exponentielle est altérée par celle de Weibull.

Un composant de Weibull Markov est défini par [6] :

1. L'ensemble des états possibles : $E = 1, 2, \dots, N$ où N est le nombre des états possibles
2. La durée de vie stochastique : $(X_{c,n}, T_{c,n})_{n=0}^{\infty}$ où :
 - $\forall n, (X_{c,n} \in E, X_{c,n} \neq X_{c,n} + 1)$;
 - $T_{c,0} = 0$ et $\forall n; (T_{c,n+1} > T_{c,n})$;
3. $F_{c,ij}(t)$ l'ensemble des fonctions de répartition des durées de transition $D_{c,ij}$.

$$\begin{aligned} F_{c,ij}(t) &= P(D_{c,ij} \leq t) \\ &= P(X_{c,n+1} = j, (T_{c,n+1} - T_{c,n}) / X_{c,n} = i) \\ &= 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{\eta_{c,ij}}\right)^{\beta_{c,ij}}\right) \end{aligned}$$

Où :

η est le paramètre échelle du composant "c" suivant la loi de Weibull :

β est le paramètre forme du composant "c" suivant la loi de Weibull ;

La matrice de probabilité de transition peut être déduite comme suit :

$$\begin{aligned} P_c(i, j) &= P\left(D_{c,ij} = \min_{k=1}^N (D_{c,ik})\right) \\ &= \int_0^{\infty} P\left(\min_{k \neq j} (D_{c,ik}) \geq \nu\right) \frac{\beta_{c,i} \nu^{\beta_{c,i}-1}}{\eta_{c,ij}^{\beta_{c,i}}} e^{-(\nu/\eta_{c,ij})^{\beta_{c,i}}} d\nu \\ &= \int_0^{\infty} \frac{\beta_{c,i} \nu^{\beta_{c,i}-1}}{\eta_{c,ij}^{\beta_{c,i}}} e^{-(\nu/\eta_{c,i})^{\beta_{c,i}}} d\nu \\ &= \frac{\eta_{c,i}}{\eta_{c,ij}} \end{aligned} \tag{1.2}$$

Les probabilités d'état d'un composant de Weibull Markov peuvent être calculées comme suit :

$$P(i) = \frac{\pi(i) \cdot E(D_i)}{\sum_{i=1}^N \pi(i) \cdot E(D_i)} \tag{1.3}$$

La fréquence est calculée par :

$$F(i) = \frac{P(i)}{E(D_i)} \quad (1.4)$$

Où

$E(D_i) = \eta_i \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta_i}\right)$ est la durée moyenne de l'état i .

$\pi(n) = (P(X_n = 1), P(X_n = 2), \dots, P(X_n = N))$ est le vecteur probabilité d'état de la chaîne.

Un système de Weibull Markov est une combinaison de composants de Weibull Markov. Il est défini par :

- M : Le nombre de composants de Weibull Markov ;
- L'ensemble des composants de Weibull Markov : $((X_{c,n}, T_{c,n})_{n=0}^{\infty})_{c=1}^M$
- La vie stochastique du système, $(S_{n_s}, T_{n_s})_{n=0}^{\infty}$

Où : Comme tous les composants sont supposés indépendants et en série, la probabilité d'états du système est le produit des probabilités d'état des composants :

$$P(s, t) = \prod_{c=1}^M P(X_c(t) = x_c) \quad (1.5)$$

La fréquence d'état s du système s'écrit :

$$F(s, t) = P(s, t) \cdot \sum_{c=1}^M \frac{F(x_c, t)}{P(x_c, t)} \quad (1.6)$$

La fréquence et la probabilité d'état du système seront également indépendantes du temps.

$$P(s) = \lim_{t \rightarrow \infty} P(s, t) = \prod_{c=1}^M P(x_c) \quad (1.7)$$

$$F(s) = \lim_{t \rightarrow \infty} F(s, t) = P(s) \cdot \sum_{c=1}^M \frac{F(x_c)}{P(x_c)} \quad (1.8)$$

1.5 Modélisation du plan de maintenance

L'idée est alors de modéliser le temps de première panne TTFF (Time To First Failure) en fonction des périodes de maintenance.

La maintenance idéale est exécutée à des intervalles équidistants, réguliers, elle n'a aucune durée et reconstitue le composant à un état "as good as new" [7], [10], [4]. Une réparation idéale n'a également aucune durée, et reconstitue le composant à un état "as good as new". On suppose que l'on a un composant pour lequel, on connaît la fonction densité de probabilité du TTF (Time To Failure). On peut effectuer une maintenance préventive idéale à des intervalles fixes T_M , et calculer la nouvelle fonction densité de probabilité du TBF du composant entretenu. La densité de probabilité du TTFF pour la période allant de la première maintenance, $f_1(t)$ a la même valeur que la densité de probabilité initiale parce que la maintenance n'a rien changé encore :

$$f_1(t) = \begin{cases} f_T(t) & \text{si } 0 < t \leq T_M \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases} \quad (1.9)$$

Notons que $f_l(t)$ n'est pas une fonction distribution de probabilité parce qu'elle décrit seulement la distribution dans la première période et $\int_0^\infty f_1(t)dt$ sera par conséquent inférieure à 1. La probabilité de survie jusqu'à la date $t = T_M$ est $R_T(T_M)$. C'est aussi la probabilité pour que le composant tombe en panne à $t > T_M$ si une maintenance n'aurait pas été effectuée. Puisque la maintenance idéale n'a aucune durée, cette probabilité résiduelle est répartie sur tous les intervalles $t > T_M$. La forme de la distribution est encore identique à l'originale parce que la maintenance est une réparation "as good as new". La distribution de probabilité pour la deuxième période sera par conséquent :

$$f_2(t) = \begin{cases} R_T(T_M)f_1(t - T_M) & \text{si } T_M < t \leq 2T_M \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases} \quad (1.10)$$

La solution générale est réalisée en répétant ceci pour $t = KT_M$ avec $K \in N+$

$$f_2^*(t) = \sum_{k=0}^{\infty} R_T^k(T_M)f_1(t_k T_M) \quad (1.11)$$

Où

$f_T^*(t)$ est la fonction distribution de probabilité du TTFF en fonction des périodes de maintenances.

En utilisant (9) on aura :

$$\int_0^{T_M} f_T^*(t)dt = \int_0^{T_M} f_T(t)dt = F_T(T_M) \text{ Et par conséquent,}$$

$$\begin{aligned} \int_0^\infty f_T^*(t)dt &= \sum_{k=0}^{\infty} R_T^k(T_M)F_T(T_M) \\ &= F_T(T_M) \sum_{k=0}^{\infty} (1 - F_T(T_M))^k \\ &= 1 \end{aligned}$$

Donc $f_T^*(t)$ est une distribution de probabilité.

1.6 Application au réseau de distribution de Béjaia

1.6.1 Calcul des indices de Fiabilité

L'application de cette méthode nécessite l'utilisation de deux types de données :

- Données de Sonelgaz : Qui sont les fréquences et les temps de coupures de chaque départ du réseau, étalés sur une durée de vingt ans (1981-2001).
Elles sont évaluées d'après les manœuvres effectuées par le personnel de Sonelgaz.
- Données internationales ; représentées par :
 - Le taux de défaillance de chaque départ du réseau ;
 - Le taux de remise en service.

Ces données ont été estimées suite à un traitement statistique de données de Sonelgaz.

A - Cas de la ville 1

Nous avons modélisé la distribution du TTFF en fonction de la maintenance. L'équation (11) qui en dérive nous a permis de construire un graphe évoluant en fonction de la période de maintenances (voir figure 2).

Le principe étant de lancer une maintenance préventive alors que le départ est à sa fiabilité maximale. À l'intersection de la courbe de distribution du TTFF initiale et celle avec la maintenance idéale, le départ est pris en charge par la maintenance qui prolonge le TTFF. Ainsi, à partir d'une certaine période, nous remarquons que cet accroissement est insignifiant. Il est préférable alors d'arrêter la maintenance et de procéder à la réparation idéale de la panne. Pour le cas de la ville 1, d'après la figure (3) qui décrit la courbe du TBF. Le plan de maintenances suivant est élaboré :

1. Avec la méthode de Weibull Markov :

	Fiabilité	MTBM	Proba maint	Proba panne	MTBF
Maintenance 0	0.497	0	0	0.50	554.72
Maintenance 1	0.477	4572.980	0.522	0	4186.929
Maintenance 2	0.646	3094.094	0.353	0	5665.782
Maintenance 3	0.733	2338.003	0.266	0	6421.859
Maintenance 4	0.785	1878.885	0.214	0	6880.976

TABLE 1.1. Méthode de Weibull Markov

Ce plan prolonge le MTBF de 554.723 h à 6880 h soit une augmentation de la fiabilité de 0,497 à 0,785.

2. Avec la méthode de Markov

	Fiabilité	MTBM	Proba maint	Proba panne	MTBF
Maintenance 0	0.49	0	0	0.50	4459.20
Maintenance 1	0.50	4379	0.499	0	4380
Maintenance 2	0.33	5839	0.66	0	2920
Maintenance 3	0.25	6569.97	0.749	0	2190.03
Maintenance 4	0.20	7299.83	0.799	0	1752

TABLE 1.2. Méthode de Markov

3. Interprétation

Le modèle homogène modélise la combinaison de processus de panne et de maintenance préventive. Mais ne peut pas être utilisé pour déterminer les effets d'un changement de plan de maintenance, car quand on utilise un TBF distribué de façon homogène pour un composant, une additionnelle modélisation de la maintenance n'affectera pas la fréquence de panne. On déduit alors que la maintenance additionnelle augmentera seulement l'indisponibilité du composant. Tous ces effets abaissent le rendement de la fiabilité et seulement la maintenance qui a été effectuée pendant la mesure des données de pannes peut être modélisée.

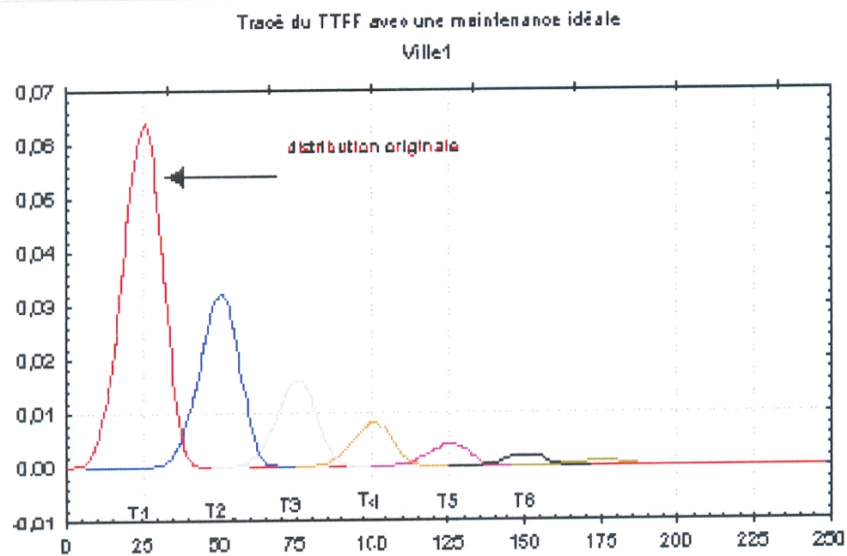


FIGURE 1.2. Graphe du TTFF avec maintenance idéale : Ville1

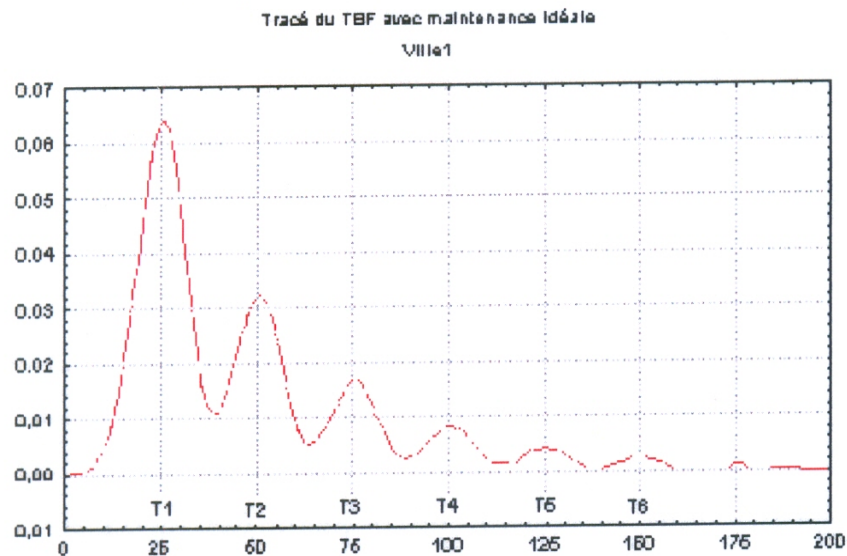


FIGURE 1.3. Graphe du TBF avec maintenance idéale : Ville1

B - Cas du réseau entier

Le tableau suivant résume le plan de maintenance adéquat pour chaque départ.

Nous remarquons qu'en moyenne, pour prolonger le MTBF de 6500 h, Il faut au moins 3 maintenances pour chaque départ.

1.7 Actions en vue de la réduction du TEC

Plusieurs actions en vue de réduire le temps équivalent coupures peuvent être mise en œuvre. Parmi elles :

Départ	Nbre de maint	Fiabilité	MTBM	Proba maint	MTBF
Ville 1	4	0,785	1878.885	0.214	6880.976
Ville2	4	0.771	1997.694	0.228	6761.622
Ville3	4	0.767	2035.703	0.232	6293.568
Zone1	3	0.742	2255.709	0.257	6504.169
Zone2	3	0.740	2270.468	0.259	6489.118
Tichy	4	0.778	1939.527	0.221	6820.363
SOPEG	3	0.716	2476.259	0.283	6280.130
SNIB	3	0.671	2875.013	0.328	5883.124
Elkseur	3	0.725	2408.372	0.274	6351.366
ENCG	3	0.718	2467.999	0.281	6289.868

TABLE 1.3. Plan de maintenance adéquat

- Équiper les départs d'automates dotés de mémoire (Oscultateurs, Lapin, ...). L'utilisation de ce procédé permet aux agents de maintenance de mieux cibler les zones à risque du départ.
- Veiller à une bonne formation de tout le personnel jusqu'aux ouvriers.
- Inciter le travail en groupe pour faire tomber les barrières entre équipes.
- Entreprendre des actions reposant sur des connaissances et des données.
- Créer des unités spécialisées dans la maintenance électrique : Ce sont les monteurs électriciens.
- Installer des radios au niveau de tous les districts.
- Prévoir un stock en accessoire au niveau des districts.
- Généraliser l'installation des automates sur l'ensemble du réseau.
- Doter les districts de véhicules tous-terrains.
- Prévoir un stock de sécurité de transformateurs au niveau des districts (au moins un par district).
- Rendre opérationnel la totalité des interrupteurs télécommandés installés.
- Gérer de façon automatique les réseaux par l'installation d'un Bureau Central de Conduite (BCC), qui nous permet de télécommander les départs, de repérer la panne et de vite rétablir les clients quand la panne est réparée.

Néanmoins toute décision d'investissement doit être précédée d'une étude technico-économique [8]

1.8 Conclusion

Derrière ces résultats, il faudrait noter que la diminution du temps de coupures en général et du TEC en particulier afin de rentrer dans la norme ISO doit se faire suivant un processus itératif. En effet, il est clair que pour entrer dans la norme ISO, la fiabilité de chaque composante doit être au moins égale à 99% [9]. Notre proposition est la suivante : 3 à 4 maintenances pour chaque départ ce qui prolongera la durée moyenne de bon fonctionnement de chaque départ à environ 7000 heures par an ; soit plus ou moins une fiabilité de 80%. Néanmoins, les décideurs peuvent mettre les moyens qu'il faut pour améliorer cette fiabilité.

Références

1. *Critères de L'UNPEDE*. EPIC Sonelgaz, Direction de la distribution, Division exploitation, Mai 1998.
2. *Cuide du Suivi des Interruptions Electriques CDO/MT*. Sonelgaz, Direction de la distribution, Mars 2001.

3. A. Aissani. *Modèles Stochastiques de la Théorie de Fiabilité*. OPU, 1992.
4. D. Aissani. Quelques questions de maintenances des équipements. *Revue de la maintenance*, 4 : 24-30, 1989.
5. O. Boudjemaa. *Rapport de tournée d'information d'ingénieur d'état Cames*. EPIC Sonelgaz, 2002.
6. J.V. Casteren. *Power System Reliability Assessment using the Weibull-Markov Model*. Department of Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, Sweden, Licenciate Thesis, 2001.
7. J.V. Casteren. *Assessment of Interruption Costs in Electric Power Systems using the Weibull-Markov Model*. Department of Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, Doctor Thesis, 2003.
8. R. Medjoudj. *Calcul et Evaluation de la Fiabilité d'un Réseau Electrique Urbain*. Thèse de Magistère, Université de Béjaia, 1994.
9. Contrat de Gestion DG-XD2002 Note pour les Zones de Distribution, editor. *Elabration des plans triennaux 2003-2005*. Direction de la distribution, Alger, Sonelgaz, Avril 2002.
10. C. Singh and R. Billinton. *System Reliability and Modelling Evaluation*. Hutchinson of London, 1977.