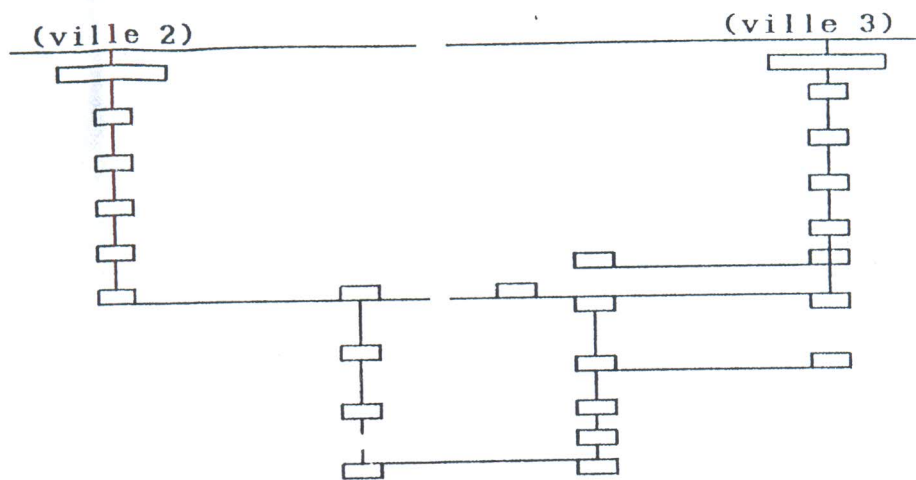


# *La Fiabilité Electrique*



**Pr Djamil AÏSSANI et Collaborateurs (\*)**

(\*) Haïm K.D., Medjoudj R., Hammache F., Bourdjioua F., Bouzidi A., Ibrahim M.S., Birouche M., Mahdi M., Adjabi S., Aïssani A., Ouabdesslem A., Boubakeur A., Ayadi L., Mansouri S., Mouhoubi S., Ousmane B., Sandjakedine H., Aïssaoui A., Messaoudène A., Taazibt L., Abdelli S., Kouliev A., Lambert P.

**Lamos Editions  
Béjaïa - 2003**

# *La Fiabilité Electrique*

# SOMMAIRE

<b>PREFACE</b> .....	01
<b>AVANT-PROPOS</b> .....	03
<b>CHAPITRE I: GENERALITES</b> .....	04
I.1. – Qualité et Fiabilité .....	05
I.2. – Quelques questions de maintenance des Equipements .....	07
I.3. – Fiabilité des systèmes .....	13
I.4. - Maintenance d'un réseau électrique urbain .....	19
<b>CHAPITRE II : FIABILITE ELECTRIQUE</b> .....	31
II.3. – Le groupe de travail <i>FSE2</i> (Fiabilité Electrique) .....	32
II.4. – Collaboration Lamos Béjaïa – Sonelgaz .....	36
<b>CHAPITRE III: ANALYSE DE FIABILITE D'UN POSTE DE TRANSFORMATION.</b> .....	38
III.1. – Analyse de fiabilité d'un poste de transformation HT/MT .....	39
III.2. – Analyse de fiabilité en vue de la restructuration du poste 60/30 Kv – Béjaïa .....	43
III.3. – Modèles de choc à l'analyse de fiabilité des équipements d'un poste HT .....	49
<b>CHAPITRE IV: MODELISATION DES RESEAUX DU POINT DE VUE FIABILITE.</b> .....	54
IV.1. – Méthode Markovienne pour l'analyse de fiabilité d'un réseau électrique urbain ...	55
IV.2. – Méthode de Monte Carlo pour l'analyse de fiabilité d'un réseau électrique urbain .	62
IV.3. – Application of non parametric reliability distributions and tests for analyzing Mv energy distribution network's failures: case of Niamey's 20 Mv network .....	69
<b>CHAPITRE V: PLANIFICATION ET EXPLOITATION DES RESEAUX ELECTRIQUES PAR LA FIABILITE</b> .....	73
V.1. – Méthodes de recherche des défauts .....	74
V.2. – Calcul des indices de fiabilité d'un réseau électrique de distribution MT .....	80
V.3. – Exploitation des réseaux électriques de distribution par la fiabilité. ....	86

<b>CHAPITRE VI : OPTIMISATION DE LA PLANIFICATION ET DE L'EXPLOITATION DES RESEAUX PAR LA FIABILITE</b> .....	91
VI.1. – Optimisation des indices de fiabilité d'un réseau électrique urbain .....	92
VI.2. - Restructuration of Mv Networks and computation of power repartition .....	99
<b>CHAPITRE VII : ASPECTS ECONOMIQUES DE LA FIABILITE</b> .....	107
V.1. – Economic aspects of distribution power system reliability: application to a 30 Kv network of Béjaïa .....	108
<b>ANNEXES</b> .....	112
* Modèles de Fiabilité et Sciences de l'Ingénieur .....	113
* Discussions Techniques (Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble). .....	115
* Stage: Lois et Tests Non Paramétriques de Fiabilité. ....	119

## AVANT - PROPOS

Il y a de cela quinze ans, le Comité scientifique de la Conférence Nationale **M.F.S.I.** (*Modèles de Fiabilité et Sciences de l'Ingénieur* – Béjaïa, Mars 1988) clarifiait la notion de fiabilité électrique et introduisait ce thème dans le programme de la première manifestation scientifique en Algérie sur la fiabilité. En effet, la fiabilité en électrotechnique est essentiellement différente de la notion habituelle (mathématique, électronique, mécanique). Elle caractérise le fonctionnement du système électro-énergétique du point de vue de l'influence des perturbations possibles (défaillance des agrégats les plus chargés ou bien des lignes de transport) sur l'aptitude de fonctionnement des autres éléments du système.

Cet ouvrage rassemble une bonne partie des résultats obtenus dans le cadre du groupe de travail **FSE2** (*Fiabilité Electrique*). Il a pour objectif de servir de support technique au cours de Fiabilité des systèmes électriques, assuré au niveau de la post-graduation en Electrotechnique (option Commandes, réseaux et Haute tension). Il met donc en évidence la spécificité de la discipline par rapport aux cours habituels de théorie de fiabilité (cf. [1], [2]).

L'introduction ces dernières années de cours de fiabilité dans toutes les filières d'électrotechniques permet de constater que l'action des Comités **M.F.S.I.** a indéniablement eu des répercussions sur les filières universitaires. En effet, l'une des missions des universitaires est justement de préparer les filières de demain. Or les exigences envers la fiabilité, la sûreté, la sécurité ou la qualité de service s'accroissent malgré les énormes progrès de la science et de la Technologie.

Le Coordonateur des Comité **M.F.S.I.**  
Professeur Djamil AÏSSANI, Directeur de Recherche

## R E F E R E N C E S

- [1] Aïssani D., *Cours de Fiabilité* (4-ème Année), U.E.R. Mathématiques – Informatique, ENITA, Bordj-el-Bahri (Alger), 1986.
- [2] Aïssani D., *Cours de Techniques Nouvelles (Fiabilité)*, 5-ème Année, Département d'Informatique et Recherche Opérationnelle, Université de Béjaïa, 2002/2003.
- [3] Aïssani A. et Aïssani D., *Fiabilité des Systèmes et Systèmes de Files d'attente non Fiables*, U.E.R. Mathématiques – Informatiques, ENITA, 1986, 88 pages.
- [4] Aïssani A., *Méthodes stochastiques de la Théorie de Fiabilité*, O.P.U., 1991.
- [5] Actes de la Conférence Nationale **M.F.S.I.** (*Modèles de Fiabilité et Sciences de l'Ingénieur*), Béjaïa, 1988, 163 pages.
- [6] Actes de la Conférence Nationale **M.F.S.I.'2** (*Modèles de Fiabilité et Sciences de l'Ingénieur*), Bordj-el-Bahri (Alger), 1988, 150 pages.

## CHAPITRE I:

### *GENERALITES*

I.1. – Qualité et Fiabilité .....	05
I.2. – Quelques questions de maintenance des Equipements .....	07
I.3. – Fiabilité des systèmes .....	13
I.4. - Maintenance d'un réseau électrique urbain .....	19

### *REFERENCES*

- [1] Aïssani D., *Qualité et Fiabilité*, Revue de la Maintenance N° 1, 1988, pp. 27 - 28.
- [2] Aïssani D., *Quelques questions de Maintenance des équipements*, Revue de la Maintenance N° 4, 1989, pp. 24 - 30.
- [3] Aïssani D., *Cours de Fiabilité (4-ème Année)*, U.E.R. Mathématiques – Informatique, ENITA, Bordj-el-Bahri (Alger), 1986.
- [4] Aïssani D. et collaborateurs, *Actes du Premier Salon International sur la Maintenance*, Alger-Palais des Expositions- (Pins Maritimes), 1991.

# QUALITE ET FIABILITE

Discours de bienvenue prononcé par M. Aïssani à l'occasion de l'ouverture du séminaire sur la qualité et la fiabilité de Béjaïa.

A la question : qu'est-ce que la qualité totale (A.A N° 1164), les cadres de l'ENORI répondent : zéro défaut, zéro panne, zéro stock, ... Cependant les pannes existent et il est nécessaire de prévoir un stock de sécurité (pièces de rechange) qui soit minimal. On doit, d'autre part, pouvoir déterminer les dates de renouvellement ou de maintenance préventive. Il existe pour cela des méthodes de gestion des stocks ou de maintenance des équipements, basées sur une connaissance de la fiabilité de ces derniers.

En effet, au niveau des systèmes complexes et des grandes unités industrielles, l'expérience et le bon sens des responsables, techniciens et ingénieurs ne suffisent plus. Il est évident que la mise en place de systèmes faiblement fiables ne correspondrait nullement aux objectifs de rendement maximum, propres à tout esprit rationnel. La maintenance des équipements, de par la spécificité des questions abordées et les particularités des méthodes de résolutions utilisées est aujourd'hui, sans aucun doute, un domaine d'application plus ou moins autonome de la recherche opérationnelle.

Qualité et fiabilité : c'est le titre de la première conférence internationale sur la fiabilité (Aix-en-Provence, 1962). Aussi surprenant que cela puisse paraître, un spécialiste algérien y a participé. Il s'agit du professeur A. Ouabdesslam, ancien membre de l'association française du contrôle industriel de la qualité. Six ans après, le professeur Ouabdesslam est attendu à Béjaïa pour participer à la première manifestation sur la fiabilité en Algérie.

La fiabilité est un concept qui intéresse de nombreux domaines de l'activité humaine : économique, scientifique, technique et industrielle... Elle est étroitement liée à ces notions de sécurité de fonctionnement, de qualité, d'efficacité ou de performance (1). Il peut paraître étrange de constater que les exigences envers la fiabilité, la sûreté ou la sécurité s'accroissent malgré

les énormes progrès de la science et de la technologie. Cette dialectique s'explique par la nécessité d'automatisation des systèmes opérationnels et aussi par la complexité toujours croissante des systèmes conçus qui exigent des critères rigoureux de sécurité (2). En effet, les concepteurs sont confrontés à des problèmes de réalisation d'architectures complexes, de structures informatiques de plus en plus difficiles à mettre en œuvre, malgré les nouvelles possibilités amenées par le développement des circuits à large échelle d'intégration. Avant de mettre sur orbite un vaisseau spatial habité, les techniciens devront être fortement convaincus de son aptitude à remplir sa mission ; outre les pertes considérables en vies humaines, l'échec de la navette spatiale Challenger a eu pour conséquences une baisse de la crédibilité de la NASA, ainsi qu'une révision des projets à court et à long termes. Rappelons également les conséquences des défaillances (humaines et matérielles) de la centrale nucléaire de Tchernobyl (URSS), l'usine Bhopal (Inde) et la série noire de catastrophes aériennes de ces derniers mois ou celle des D.C 10 d'il y a deux ans.

Est-ce trop tôt en Algérie pour s'intéresser à ce type de problèmes ? Nous en doutons, le transfert de technologie ayant permis l'acquisition d'un ensemble d'unités industrielles (Skikda, El Hadjar, Arzew...), ainsi qu'une flotte aérienne conséquente.

La fiabilité est l'aptitude, d'un système (équipement...) à accomplir une fonction (ou mission) donnée durant une période déterminée dans des conditions spécifiées d'exploitation.

D'autre part, la qualité d'un système est l'ensemble des propriétés qui déterminent son niveau d'utilité pour son utilisation selon la destination. On peut alors donner une nouvelle définition de la fiabilité : c'est l'aptitude à conserver la quali-

Par M. Djamil Aïssani, docteur d'Etat, maître de conférences à l'université de Béjaïa

té dans des conditions données d'exploitations, pendant une période donnée.

La sûreté de fonctionnement est l'aptitude d'un système ou de son environnement à minimiser la fréquence d'apparition des défaillances et à minimiser leurs effets. Cette notion est caractérisée par :

- la *fiabilité*, qui est la faculté du bon fonctionnement continu durant une année.

- la *disponibilité*, qui est la faculté du système à accomplir correctement ses tâches lorsqu'il est sollicité ;

- la *maintenabilité*, qui est l'aptitude à localiser, à réparer les éléments défaillants et corriger les erreurs.

- la *longévité* qui est l'aptitude du système à une longue durée d'exploitation ;

- la *sécurité* qui est la faculté d'éviter les événements catastrophiques pour la mission à accomplir ;

Les notions définies ci-dessus sont en relation étroite avec l'*efficacité* ou la *performance* du système qui est un critère de *qualité*.

Ainsi, nous dirons que la théorie de fiabilité est le domaine de l'ingénieur orienté vers l'application des méthodes mathématiques utilisées lors de la conception, l'élaboration, la réception, le transport, le stockage et/ou l'exploitation du système pour garantir une efficacité maximale :

- elle étudie la loi d'apparition des défaillances et les méthodes de leur prévision ;

- elle établit et étudie les critères de sûreté de fonctionnement ;

- elle élabore les méthodes de contrôle de la fiabilité et les procédures d'essais de fiabilité ;

- elle étudie les méthodes d'évaluation de la fiabilité à l'étape de la conception ;

- elle établit les méthodes de maintenance préventive.

Le but des calculs mathématiques

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) Randell B, Lee P.A, Troleaven P. Reliability issues in computing system designs, ACM computing survey, V 10, N° 2 1978.
- (2) Hecht H. Fault tolerant software for real time application, computing survey, V.3 N° 4 1978.
- (3) Aïssani D. quelques questions de maintenance des équipements ? U.E.R Mécanique, janvier 1987.
- (4) Aïssani A, théorie de fiabilité, U.E.R Math-info, décembre 1987.

est de permettre aux responsables (d'entreprises, d'ateliers...) de prendre une décision, c'est-à-dire réaliser une analyse critique de la situation et en fin de compte, choisir entre les différentes variantes.

Remarquons ici, que la prise de décision dépasse le cadre de la recherche opérationnelle. Elle concerne la compétence d'une certaine personne (la plupart du temps, d'un groupe de personnes), à qui incombe la tâche du choix définitif, et par là même, la responsabilité de ce choix. En prenant sa décision, ce groupe de personnes peut étudier (en plus des recommandations qui découlent des calculs mathématiques) une série de critères n'ayant pas été étudiés dans les calculs.

Tout ceci nous permet d'affirmer que les études de fiabilité font intervenir divers facteurs dont les plus importants sont l'expérience de l'opérateur qui est en contact quotidien avec l'équipement ; les physiciens qui peuvent évaluer les contraintes mécaniques ou autres, les économistes qui doivent estimer les divers coûts et surtout la psychologie de l'ingénieur qui permet d'effectuer une synthèse de ces résultats.

La conférence de Béjaia se propose d'éluder la solution habituelle de facilité (« la fiabilité n'est pas pour aujourd'hui en Algérie ») et d'essayer de réunir les personnes qui font des problèmes de fiabilité et de maintenance, leur domaine d'intérêt. Il ne s'agira pas là de faire venir des spécialistes étrangers pour nous exposer ce que leurs « boîtes » peuvent nous « faire », mais précisément d'une rencontre de spécialistes algériens (universitaires, industriels, économistes), qui viendront nous parler de leur expérience, nous apporter leur témoignage et prendre en considération tous les aspects du problème.

Aux participants à la conférence nationale « Modèles de fiabilité et science de l'ingénieur », nous disons : soyez les bienvenus !



# QUELQUES QUESTIONS DE MAINTENANCE DES EQUIPEMENTS

Jamil AISSANI

**RESUME :** Ce rapport d'analyse a pour but de clarifier (sans entrer dans les détails), l'approche scientifique des problèmes de maintenance des équipements (structure générale des problèmes de renouvellement, réparation et service des appareils). Nous éconçons une gamme de problèmes typiques rencontrés par les mécaniciens. Enfin, nous donnons une idée des méthodes spécifiques de résolution de ces problèmes.

- 1. Introduction
- 2. Domaine d'application
- 3. Buts du rapport
- 4. Historique
- 5. Approche générale
  - 5.1. Quelques types de problèmes susceptibles d'être abordés.
  - 6.1. Fiabilité des articles fabriqués
  - 6.2. Problème de l'entretien des machines
  - 6.3. Fiabilité des machines
  - 6.4. Organisation optimale des priorités
  - 6.5. Contrôle prophylactique
  - 6.6. Organisation rationnelle du renouvellement
  - 6.7. Tester la résistance d'une pièce
  - 6.8. Problèmes de prévision
    - 6.8.1. Travail à effectuer au préalable
    - 6.8.2. A quel niveau interviennent les propriétés physiques des éléments.
  - 6.9. Un mémoire d'ingénieur dans les conditions actuelles est-il réaliste ?
  - 6.10. Recommandations pour l'avenir.
    - 6.10.1. Compétence du futur spécialiste
    - 6.10.2. Concertation et organismes compétents
    - 6.10.3. Conclusion.
    - 6.10.4. Littérature conseillée
    - 6.10.5. Bibliographie
    - 6.10.6. Annexe: Quelques problèmes de fiabilité des systèmes.
- 7. INTRODUCTION :
- 8. L'Algérie a opté pour la technologie de pointe, entre autre, par le

biais du transfert de technologie. L'importance des équipements pour un pays, dont le but est de sortir du sous-développement, n'est plus à souligner. Encore faut-il pouvoir maintenir ces équipements en état de bon fonctionnement. Au niveau des systèmes complexes et des grandes unités industrielles (El-Hajar, Skikda, Arzew...), l'expérience et le bon sens des responsables, techniciens et ingénieurs ne suffisent plus. Il est évident que la mise en place de systèmes faiblement fiables ne correspondrait nullement aux objectifs de rendement maximum propres à tout esprit rationnel. Les questions relatives à l'élévation et au « contrôle » de la fiabilité des systèmes ont été exposées dans [1], [13].

La maintenance des équipements, de part la spécificité des questions abordées et les particularités des méthodes de résolution utilisées est aujourd'hui,

Problèmes  
déterministes

sans aucun doute, un domaine d'application plus ou moins autonome de la recherche opérationnelle.

## 2. DOMAINE D'APPLICATION :

Les caractéristiques techniques de tout équipement militaire et industriel, avec le temps et en résultat de l'exploitation, deviennent défaillantes (si l'on ne prend pas les mesures nécessaires pour la réparation et l'entretien de cet équipement). La question de maintenance est donc une série de problèmes liés au contrôle de l'état de l'équipement. Pour résoudre ces problèmes typiques, on peut utiliser des approches déterministes ou stochastiques. Dans certains cas, il est plus rentable, non pas de réparer, mais plutôt de changer complètement l'appareil usé.

Souvent l'appareil, (ou bien ses composants), est renouvelé non pas du fait de la déviation de ses caractéristiques techniques, (par rapport à celles données), mais en conséquence du fait que sont apparus des appareils beaucoup plus modernes, ayant des paramètres plus performants.

Signalons que les composants renouvelés peuvent être jetés, ou bien dirigés vers des ateliers de réparation spéciaux. Un choix de modèles de systèmes pourra être consulté dans (8).

Problèmes  
stochastiques

Renouvellement des équipements : Inspection prophylactique des équipements

Reparation prophylactique des équipements

Structure organisationnelle de la maintenance

## ORGANISATION DU CONTROLE TECHNIQUE DE SERVICE

Le terme équipement a ici un sens très général. Par équipement, on peut entendre une pièce détachée d'un certain mécanisme, (le mécanisme lui-même, dans son ensemble, ainsi d'ailleurs qu'un mécanisme complexe). En règle générale, on distingue trois types de problèmes :

1. Problèmes liés au fonctionnement des appareils à longue utilisation, qui peuvent être souvent exploités pendant une longue durée indéfinie de temps (avec non inclinaison vers la hausse des dépenses, dues à la durée d'utilisation).

2. Problèmes de renouvellement des appareils dans le but de prévoir à l'avance sa « panne ». (Quand la probabilité de panne augmente avec l'augmentation de la durée de service).

3. Problèmes du choix d'un certain plan de réparation préventive et de service prophylactique dans le but de diminuer la probabilité de panne.

Parmi les méthodes mathématiques utilisées pour la résolution des problèmes cités, on peut distinguer :

- La théorie de fiabilité ;
- La théorie de files d'attente ;
- La théorie des processus aléatoires ;
- La programmation dynamique ;

### 3. BUTS DU RAPPORT :

Le but principal de ce rapport est de cerner les différentes possibilités de faire aboutir l'idée, lancée par les capitaines Damou et Laïmeche, concernant l'encadrement d'un projet de fin d'étude (mémoire d'ingénieur en mécanique) sur la maintenance des équipements. Pour cela, il faudra :

- clarifier l'approche scientifique de tout problème de maintenance,
- donner une gamme de problèmes typiques rencontrés par les mécaniciens,
- signaler à quel niveau interviennent les propriétés physiques des éléments,
- donner une idée des méthodes typiques de résolution.

### 4. HISTORIQUE :

L'approche scientifique des problèmes de maintenance des équipements s'est imposée à la fin de la seconde guerre mondiale. Les spécialistes des armées ont pris conscience du fait que l'augmentation de la complexité des armements, ainsi que la fréquence des défaillances considérablement plus importantes que le nombre d'armes prévues sur le terrain. Il va de soit que ceci a influé considérablement sur le budget d'investissement des armées. Ces militaires constatèrent également que les dépenses en maintenance et réparation dépassaient considérablement les dépenses prévues (des rapports de 10 à 20 ont été avancés pour certains équipements [3]). En effet, que doit-on attendre d'un système militaire qui ne fonctionnerait que le 20<sup>ème</sup> de temps en moyenne ? En Algérie, les problèmes de maintenance ne sont pas nouveaux. Déjà, en 1981, M. Boulala, A. Bouguerra, F. Rouabha, K. Mokrani (voir [7], [15], [23]) ont encadré des projets de fin d'études (technicien supérieur) en informatique, relatifs à des problèmes de maintenance. Il est cependant dommage que ces travaux n'ont pas eu de suite. Ceci est certainement dû à une absence de concertation et de diffusion de l'information.

### 5. APPROCHE GENERALE :

Dans le cadre d'une situation typique, on doit pouvoir prendre une décision parmi plusieurs variantes.

Dans le but de clarifier cette situation et de comparer (en considérant différentes caractéristiques) les différentes variantes, on organise une série de calculs mathématiques. Leur but est de permettre aux responsables (d'entreprises, d'ateliers,...) de prendre une décision, c'est-à-dire, réaliser une analyse critique de la situation, et, en fin de compte, choisir entre les variantes.

Remarquons ici, que la prise de décision dépasse le cadre de la recherche opérationnelle et concerne la compétence d'une certaine personne (la plupart du temps, d'un groupe de personnes), à qui incombe la tâche du choix définitif, et par-là même,

la responsabilité de ce choix.

En prenant leur décision, ce groupe de personnes peuvent étudier (en plus des recommandations découlant des calculs mathématiques), encore une série de critères, n'ayant pas été étudiés dans les calculs.

En règle générale, la méthodologie utilisée pour étudier scientifiquement un problème de maintenance est la suivante :

1. Bien définir le but à atteindre,
2. Elaborer un plan d'exploitation (de réalisation) du projet.
3. Position du problème.

C'est l'une des étapes les plus importantes (définition concrète du problème, définition des variables dirigées et non-dirigées, définition des paramètres technologiques du système et du coefficient d'effectivité).

Soulignons ici qu'un mauvais choix du coefficient d'effectivité est très dangereux.

#### 4. Construction du modèle

On étudie la corrélation découlant des définitions, ainsi que les corrélations empirique et normative.

Il n'y a pas de moyens classiques de construction de modèles mathématiques. Il y a deux dangers à éviter :

- s'empêtrer dans les détails
- rendre le phénomène un peu trop grossier

5. Elaboration d'une méthode de calcul.

6. Exploitation du problème technique sur machine.

7. Récolte des données.

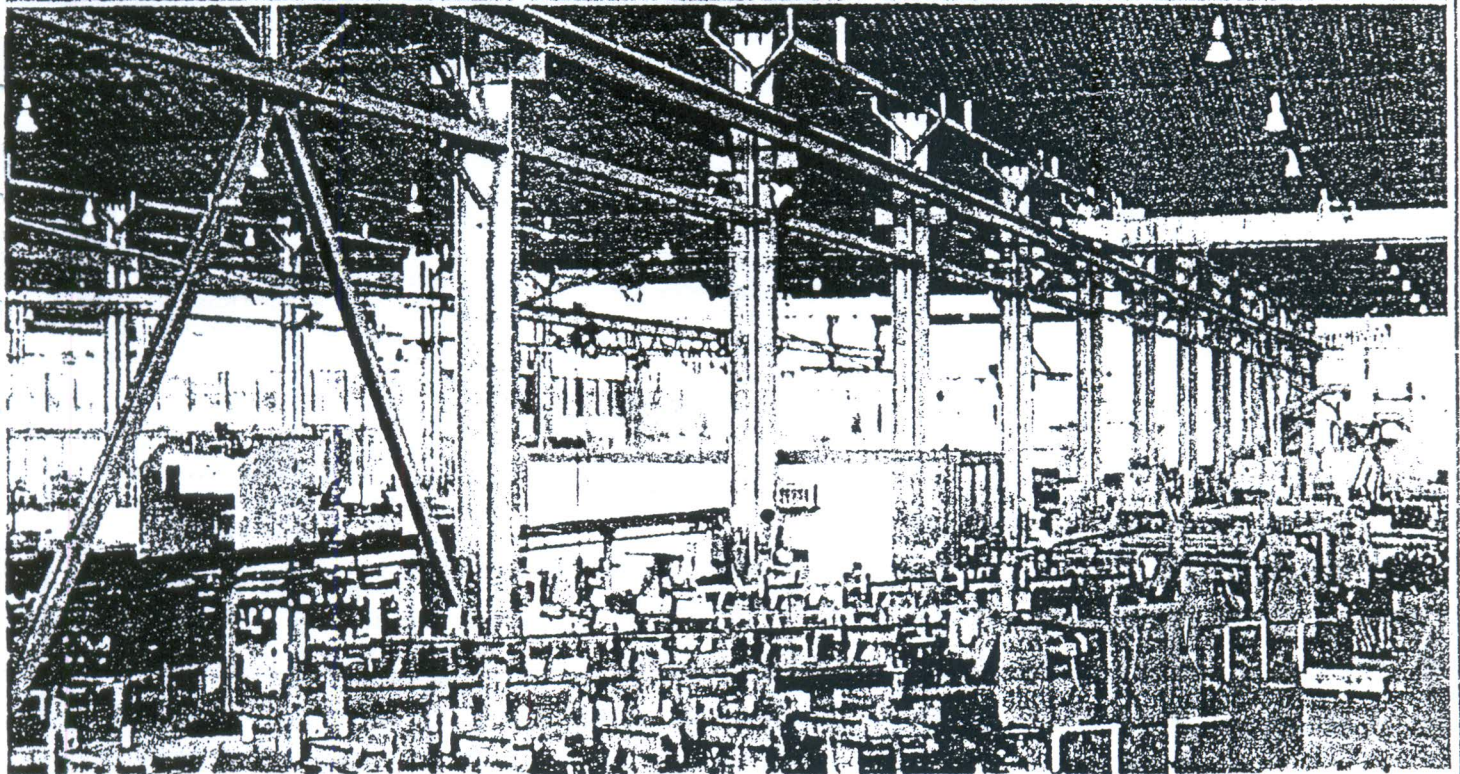
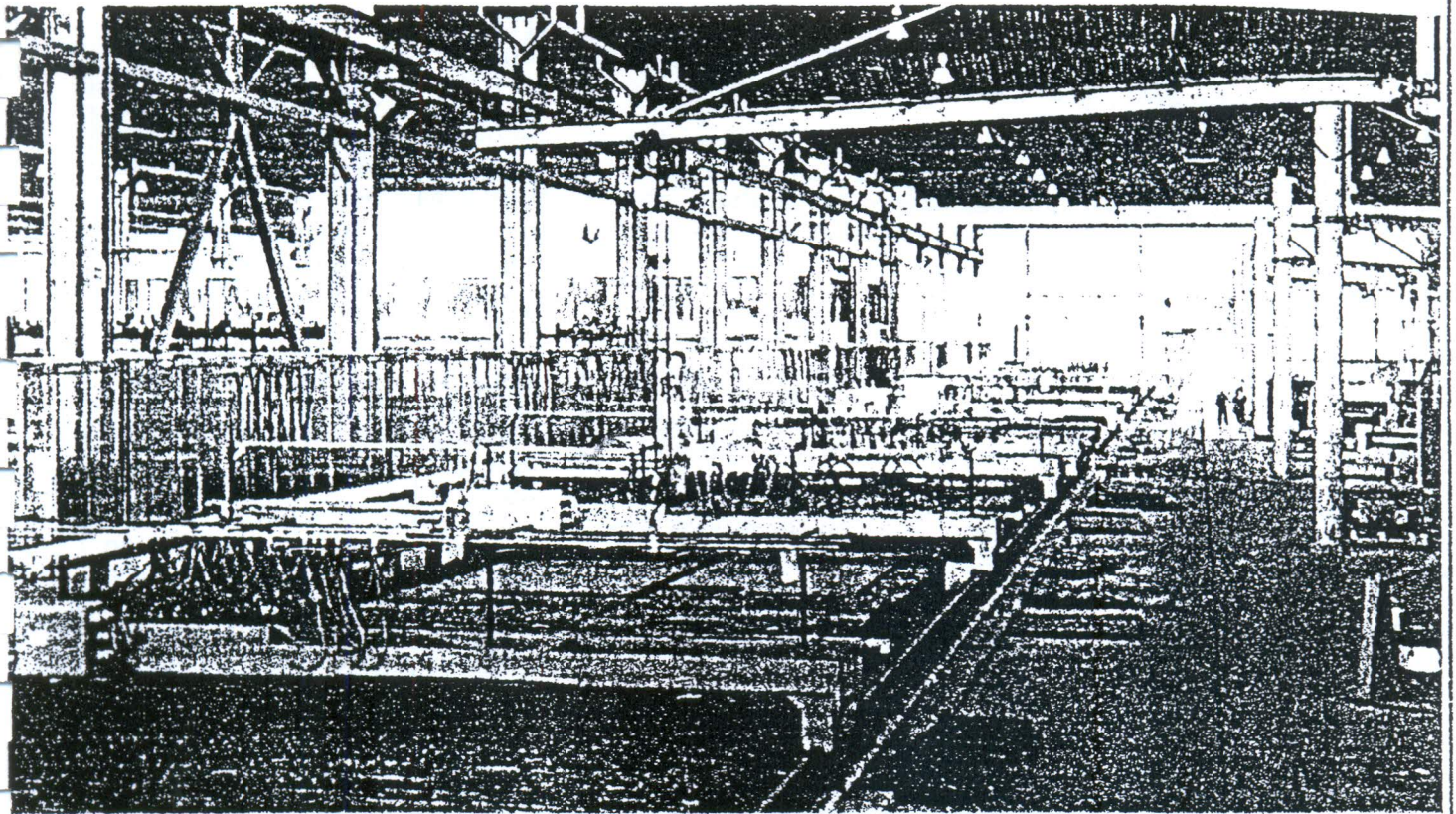
8. Vérification du modèle (entre autre, voir si le modèle est adéquat, considérer la sensibilité, la capacité de travail...).

9. Interprétation des résultats.

## 6. QUELQUES TYPES DE PROBLEMES SUSCEPTIBLES D'ETRE ABORDES.

### 6.1. Fiabilité des articles fabriqués :

C'est une caractéristique importante que tout constructeur devrait joindre aux caractéristiques techniques de son produit. Cela nécessite l'utilisation de méthodes statistiques simples et par conséquent, le suivi et le contrôle des articles (en demandant, par exemple, aux utilisateurs, d'informer le constructeur des défaillances). A l'aide d'un



## Publicité ENMTP

hantillon, il sera possible d'es-  
ner la loi des pannes.

### 6.2. Problème de l'entretien des achines :

- Dans un parc automobile
  - Dans un atelier.
- On dispose d'un certain nombre

de réparateurs. On détermine la  
loi des pannes ainsi que la loi de  
réparation des machines (des vé-  
hicules).

- On détermine ensuite ;
- la durée de vie moyenne des  
machines ;
  - la durée moyenne de répara-

tion ;

- la probabilité pour qu'une  
machine attende la réparation
- combien de machines doit-on  
confier à un réparateur ?
- comment organiser de ma-  
nière rationnelle le service ?
- combien de réparateurs doit-

n affecter à cette tâche afin de minimiser le coût ?

- dans le cas où l'on utilise u'un seul réparateur, est-il économique d'affecter un réparateur e réserve ?

- ce réparateur de réserve doit être affecté uniquement à cette tâche ?

- peut-on lui confier d'autres tâches en parallèle ?

- considération du cas des réparateurs spécialisés.

### 5.3. Fiabilité des machines :

Estimation des lois des pannes et de réparation.

### 5.4. Problèmes de l'organisation optimale des priorités à accorder aux types d'articles à réparer :

Supposons qu'un réparateur doive s'occuper de plusieurs types d'articles. Pour chaque type d'articles, il serait possible d'estimer le coût de son inutilisation. On organiserait ainsi des priorités dans la réparation. Par exemple, tel type d'article doit être réparé avant les autres.

### 6.5. Problèmes de contrôle prophylactique.

On dispose d'un appareil (d'une machine), qui n'est utilisé que pour des cas spéciaux. Si les paramètres de cet appareil se détériorent avec le temps, alors il peut s'avérer inutilisable lorsque se produisent certains événements.

Le seul moyen de vérifier l'aptitude de l'appareil est évidemment le contrôle prophylactique.

Cependant, si pendant la période de contrôle (vérification du bon état de l'appareil), on se voit dans la nécessité de l'utiliser, ceci ne sera pas possible (car l'appareil ne sera pas disponible). Le problème consisterait à déterminer la fréquence du contrôle de l'état de l'appareil, en maximisant sa durée de disponibilité.

### 6.6. Problèmes d'organisation rationnelle du renouvellement des appareils (où des pièces de rechange).

Pour certains types d'appareils, les dépenses d'exploitation augmentent avec le temps. Afin de diminuer ces coûts, on renouvelle l'appareil. Du fait que le renouvellement de l'appareil s'accompagne de dépenses supplémentaires, il s'agira de trouver l'intervalle optimal, entre les renouvellements, afin que la dé-

pense globale durant une unité de temps soit minimale.

### 6.7. Tester la résistance d'une pièce.

Pour tester la résistance d'un ressort (ou d'un câble), on effectue des essais. On applique une certaine force et on observe ; est-ce que la pièce a résisté ? On pourra augmenter la force après chaque essai. Il pourra être possible de décrire l'évolution du phénomène à l'aide d'une chaîne de Markov, par exemple :

état 1 : le ressort a résisté.  
état 2 : il n'a pas résisté.

### 6.8. Problèmes de prévision.

Après avoir fabriqué dans des conditions déterminées, à partir d'un même lot de matières premières, un certain nombre de pièces détachées, on recueille les données statistiques relatives à la durée de leur fonctionnement sans défaillance. On constate que cette durée (de fonctionnement sans défaillance) présente une certaine dispersion et l'on ne peut pas prévoir exactement la durée de vie de chaque pièce. Cependant, on pourra formuler des prévisions suffisamment concrètes sur la proportion des pièces qui auront une durée de vie déterminée, si le lot de pièces est relativement grand. On pourra également avoir des informations sur les causes des pannes, etc.

## 7. TRAVAIL A EFFECTUER AU PREALABLE.

1. Description des machines, appareils, articles et pièces détachées dont on cherche à étudier la fiabilité, avec toutes les caractéristiques techniques.

2. Indiquer les types de pannes (défaillances) possibles.

3. Indiquer les pannes qui représentent uniquement des dépenses en argent, énergie, temps de travail, ou autre.

4. Indiquer celles qui peuvent avoir des conséquences catastrophiques (dangers pour la vie humaine...).

5. Estimation des coûts de réparation de chaque élément (appareil, article...).

6. Disponibilité en réparateurs.

Ces derniers sont-ils spécialisés dans tel ou tel type de réparation ?

7. Quels sont les problèmes que rencontrent les ingénieurs mécaniciens, autres que ceux qui sont cités ci-dessus ?

## 3/ A QUEL NIVEAU INTERVIENNENT LES PROPRIETES PHYSIQUES DES ELEMENTS.

Avant d'utiliser une quelconque méthode mathématique (dans l'organisation et la conduite des essais), il est nécessaire d'effectuer un certain travail préparatoire.

- Il faudra au préalable choisir les paramètres dont l'estimation des valeurs doit constituer l'objet essentiel des essais. Ce choix est avant tout déterminé par la signification physique des caractéristiques proposées ainsi que par les points faibles qui ont été décelés, au cours du fonctionnement des articles soumis à l'essai, ou, lors de l'exploitation des articles fabriqués. Cette étape du travail dépend de l'ingénieur mécanicien.

Ce n'est que plus tard, quand il sera nécessaire d'estimer la dépendance réciproque des paramètres choisis (et effectuer le traitement des résultats des essais), qu'interviendront les calculs mathématiques.

Exemple 1 : si l'article est l'axe d'un piston, il est important de connaître ses dimensions géométriques et l'homogénéité de cémentation.

Exemple 2 : pour évaluer la fiabilité d'une résistance, il est important de connaître :

- la valeur de la résistance en OHMS

- la stabilité de la résistance aux influences thermiques et électriques ;

- la durée de stockage ;  
- l'influence de l'humidité ;  
- etc. ;

Pour l'organisation des essais, on doit également choisir les conditions extérieures, (température, humidité, tension, vibration, choc, distribution des charges dans le temps...).

Il est évident que ces conditions seront différentes pour des articles destinés à être utilisés au Sahara, dans les montagnes de Kabylie, ou dans la Mitidja.

Les considérations physiques de la science de l'ingénieur doivent également être prises en compte pour le choix des limites admissibles de variation des paramètres, de sorte que la sortie des valeurs des paramètres en dehors de ces limites doit être qualifiée de panne.

### UN MEMOIRE D'INGENIORAT DANS LES CONDITIONS ACTUELLES EST-IL REALISTE ?

En général, un projet de fin d'études doit aboutir à une application concrète des connaissances théoriques qu'a accumulés l'étudiant au cours de son cycle d'études.

Du point de vue mécanique, l'étudiant aura à effectuer une analyse dont les grandes lignes ont été tracées précédemment. Cependant, son véritable travail sera mathématique.

Dans les conditions actuelles, plusieurs points sont défavorables à un tel projet :

1/ - La mécanique dépasse les domaines de compétence de l'encadreur.

2/ - Les étudiants n'ont pas suivis un cours de théorie de fiabilité (ni un quelconque autre cours de recherche opérationnelle).

3/ - Absence de données.

4/ - Durée de temps limitée.

A court terme, toutes ces conditions font qu'un projet (dans les traditions de l'école) n'est pas réaliste.

Néanmoins, il découle de mes entretiens avec les capitaines LAIMECHE et DAMOU que :

- si le projet devait aboutir à laisser un document de travail de base, dans lequel seraient formulés les différents problèmes rencontrés (en ce qui concerne la maintenance des équipements) au niveau de l'ENITA, alors les ambitions seraient satisfaites.

- Si de plus, il aboutissait à une application concrète, alors leurs espérances seraient dépassées.

Soulignons que ces points de vue sont conformes aux directives du Président de la République en ce qui concerne le contrôle des équipements.

Le professeur E. Ventsel est une grande spécialiste des problèmes d'application des méthodes de la Recherche Opérationnelle. Il est intéressant de connaître son point

de vue :

« Soyons francs : l'indéfinition, c'est l'indéfinition. Si les conditions de réalisation d'une opération ne sont pas connues, nous ne pouvons pas l'organiser avec succès, comme nous l'aurions fait, dans le cas où nous aurions eu une certaine information. C'est pourquoi, toute solution prise dans des conditions d'indéfinition est plus mauvaise qu'une solution prise dans des conditions bien définies. Cependant, une solution prise dans des conditions d'indéfinition, mais sur la base de calculs mathématiques, sera quand même meilleure qu'une solution prise au hasard ».

A la lumière de l'analyse effectuée, je considère qu'un tel projet est réalisable. Certes, les conditions défavorables citées ci-dessus ne permettent pas de présenter un travail exploitable dans l'immédiat, car il faudra des exemples numériques sur des données fictives ou simulées. Néanmoins, ce projet sera une base scientifique pour des travaux futurs.

### 10/ RECOMMANDATIONS POUR L'AVENIR

Le rédacteur de ce rapport a, en tant qu'homme de terrain, participé à diverses expériences pédagogiques (réforme de l'enseignement supérieur, mise en place de l'école fondamentale,...). Il s'est, d'autre part, intéressé aux applications des mathématiques (voir [2], [6]). Si ses premières expériences, par manque de qualification et de documentation, n'ont pas été concluantes, les enseignements [4] et [3] ont abouti à la rédaction des travaux [1], [16].

Un projet d'ingénierie concret dans le domaine de la maintenance des équipements serait réaliste, si :

- dans le cadre du module de Statistiques, l'on organise des mini projets :

a) - récolte des données

b) - organisation des essais.

- inscrire les étudiants désignés, au « cours de théorie de fiabilité », enseigné à l'U.E.R. de Math. - Info.

### 11/ COMPETENCES DU FUTUR SPECIALISTE

L'expérience montre que les meilleurs modèles mathématiques sont construits par des spécialistes en la matière (dans notre cas, en mécanique) qui auraient

approfondis leurs connaissances en mathématique. En effet, eux seuls sont en mesure de savoir :

- quels paramètres choisir ?
- relation de quels facteurs mettre en évidence ?
- etc.

Le rôle de ces spécialistes est également important lorsqu'il s'agit d'interpréter les résultats des calculs et de les présenter sous forme de recommandations aux responsables, chargés de prendre la décision.

L'expert Robert Thrall affirme que « n'ayant pas suffisamment de critères fondés, pour estimer la qualification professionnelle de ce genre de spécialiste, je risque de me tromper, en considérant que les exigences envers ces ingénieurs (Master of science) sont au moins dix fois supérieures des exigences envers les spécialistes, ayant rang de docteur ».

Il est clair que le rôle de ces spécialistes ne sera pas, (s'ils travaillent en dehors du système d'enseignement supérieur) de s'occuper de travaux à caractère scientifique. Les recherches seront en premier lieu destinées à adapter les méthodes scientifiques à des applications concrètes.

Ces spécialistes devront :

- avoir une base beaucoup plus vaste de qualification professionnelle.
- estimer correctement et appliquer (dans la pratique) les résultats obtenus dans des travaux à caractère scientifique.

Dans le cas où il lui sera demandé d'utiliser les résultats de recherches techniques, il devra pouvoir :

- estimer correctement les avantages possibles, grâce, notamment, à des consultations fréquentes avec des spécialistes de la recherche opérationnelle.
- utiliser de telles consultations pour l'élaboration d'une approche constructive de résolution.

### 12. CONCERTATION ET ORGANISMES COMPETENTS

Les délais accordés au rédacteur de ce rapport étant relativement courts, il ne lui a pas été possible :

- de consulter les comptes rendus des différents séminaires et journées d'études

sur la maintenance.

- de consulter une littérature beaucoup plus complète

- de s'entretenir de la question avec d'autres spécialistes

- d'approfondir ses connaissances en mécanique.

Pour traiter des problèmes de maintenance des équipements, de manière scientifique, il existe des organismes spécialisés :

**Au Niveau du Ministère de la Défense Nationale**

1/ - Laboratoire de recherche opérationnelle - Direction de la Recherche Scientifique.

2/ - Département de Recherche Opérationnelle C.I.A.

**Au Niveau du Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique**

1/ - Le laboratoire de modélisation stochastique - I.N.E.S. Béjaïa. Ce laboratoire est rattaché à l'équipe de recherche de statistiques appliquées de l'université de Constantine.

2/ - Département de Recherche opérationnelle U.S.T.H.B.

3/ - Département de Probabilités - statistiques U.S.T.H.B.

4/ - Laboratoire de statistiques - Université de Constantine.

**Autres Organismes**

- C.D.T.A. Commissariat aux énergies nouvelles.

- Institut national de la maintenance.

Signalons enfin, que des personnes s'intéressant à la question existant dans d'autres établissements (A. Ouabdesslem, E.N.P., A. Aissani, Université de Annaba).

**13. CONCLUSION**

Avec le temps, les équipements prendront une place de plus en plus importante dans notre pays (ce n'est pas pour rien que certains pays développés ont créé un ministère de l'Équipement). D'où l'affirmation que les problèmes de maintenance sont plus que jamais d'actualité.

Il n'est pas indifférent que le Ministère de la Défense Nationale, par le biais de l'ENITA, forme ces premiers spécialistes qualifiés. Ils feront partis d'une nouvelle classe de techniciens très demandés dans les pays industrialisés. On les appelle : ingénieurs fiabilistes.

**LITTÉRATURE CONSEILLÉE**

Pour pouvoir traiter des problèmes de maintenance des équipements, il est nécessaire d'avoir quelques connaissances en statistiques, files d'attente et fiabilité. Nous recommandons (2), (4), (13), (1).

Pour la construction des modèles, propres, aux problèmes de maintenance, nous conseillons (8), les questions relatives à la récolte des données, vérification des différentes hypothèses, etc. pourront être consultées dans (1), (3).

Pour l'étude des questions relatives au renouvellement des équipements ainsi que les considérations économiques liées à de tels renouvellements, nous recommandons (11, chap 8), (14, chap. 8), (17, chap. 5 et 10).

On trouvera une synthèse de travaux concernant les problèmes de service optimal et d'exploitation dans (20), alors que les problèmes relatifs aux renouvellements par groupes et préventifs, ainsi que les questions de contrôle (tournée d'inspection) pourront être consultés dans (9), (12) et (18).

Pour les problèmes prophylactiques et de vérification, nous conseillons (19) et (21). Enfin, pour les questions spéciales de réserves optimales avec considération des facteurs économiques (22).

**Bibliographie**

(1) Aissani A. et Aissani D. Fiabilité des systèmes et systèmes de files d'attente non fiable. U.E.R. de Math-Info, E.N.I.T.A., 1986, 90 P.

(2) Aissani D. Statistiques appliquées par ingénieurs en industrie alimentaire I. sce B, Constantine OPE, 1979, 179 pages.

(3) Chapouille P. et R. de Pazzis. Fiabilité des systèmes. Masson et Cie, 1968.

(4) Bouguerra A. et Aissani D. Cours de processus aléatoires et files d'attente U.E.R. de Math-Info. 1985/86.

(5) Corraza M. Technique Mathématiques de la Fiabilité prévisionnelle CEPADUES Ed., 1975.

(6) Aissani D. Mathématique, pour géologue, I.Sc.I. Constantine C. P. E., 1978, 289 pages.

(7) S. Brosban et F. Baghdadi, Prévision scientifique, projet de fin d'étude Techn. Sup. UER Math-Info, 1981.

(8) Pierskalla W. and Voelker J., A Survey of maintenance models: the control and surveillance of deteriorating systems, Naval Research, log. quart. 23, N°3, 353 - 388, 1976.

(9) Moder J. and S. El Magharebi, Handbook of operations Research, V. NR comp., 1978.

(10) Aissani A. et Aissani D. Méthodes mathématiques d'analyse des phénomènes d'attente / à paraître.

(11) Kauffman A. et Faure, Initiation à la Recherche Opérationnelle Dunod, Paris, 1975.

(12) Barlow R. and Proshan F. Mathematical theory of reliability, Wiley, NY, 1965.

(13) Aissani D. Cours de théorie de fiabilité, U.E.R. de Math-Info., 1986/87.

(14) Ackoff R. and M Saseeni, Fundamentals of operations research John Wiley and sons, 1968.

(15) E. Chabane, A. Guédiane Ustire et renouvellement. Projet de fin d'étude (TS) U.E.R. Math-Info, 1981.

(16) Aissani A. et Aissani D. Application des phénomènes d'attente aux systèmes de calcul et informatique/ à paraître.

(17) Kauffman A. Méthodes et modèles de la Recherche Opérationnelle Dunod, Paris.

(18) Guerdtsbach I. Modèles prophylactiques (bases théoriques de planification des travaux prophylactiques). Sov. Radio, 1969/Langue Russe.

(19) Gnedenko B., Belieev Y. et Soloviev A. Méthodes mathématiques en théorie de fiabilité, Ed. Mir, 1972.

(20) Brazilovitch E. Sur les problèmes de service des systèmes thermiques complexes Izv. Ak. Nauk. « Tech. Hibernetika, N°4, 1968, n° 1, 1967/ Langue russe.

(21) Lloyd D. and Lopow M. Reliability managment methods and mathematics, Prentice-Hall, N.U, 1962.

(22) Méthodes de résolution de problème de réserve optimale quand il n'y a pas de restriction. Ed Sov. Radio, 1969/Langue russe.

(23) S. Tolbi et D. Libari, Simulation d'une chaîne de traitement, projet de fin d'études, Tech. Sup. U.E.R. Math-Info, 1981.

(24) Ventsel E. OPERATION RESEARCH M. Nauka, 1980/Langue Russe.

(25) Pedrono R. et Helary J. Recherche Opérationnelle, Hermann, Paris 1983.

(26) Kosteutich L. et Lapko A. Théorie des jeux et Recherche Opérationnelle Ed. Vecheichaia Schkola, /Langue russe.

**THEORIE DE FIABILITE**

En plus des notions indiquées dans l'introduction, le programme prévoit un chapitre sur la fiabilité des éléments (fonctionnant jusqu'à la première panne, renouvelés), un chapitre sur l'estimation des indices de fiabilité et enfin un chapitre sur la vérification des hypothèses de fiabilité.

Le chapitre sur la fiabilité des systèmes comprend: système à éléments indépendants fonctionnant jusqu'à la première panne, système renouvelé et système à temps de renouvellement fini.

§.2. Quelques problèmes de fiabilité des systèmes:PREMIERE PARTIE :

la discipline scientifique étudiant les méthodes générales nécessaires :

- à la mise au point des projets,
- à l'exploitation des appareils afin d'obtenir une efficacité maximale dans le processus d'utilisation,
- au calcul relatif à la qualité des appareils en fonction des qualités connues de ses composantes, a été appelée Théorie de fiabilité.

Question n°1 :

De quelle manière la théorie de fiabilité régit les lois naturelles des pannes des appareils et les méthodes permettant de les prévoir ?

Question n°2 :

Quelles méthodes élaborent-on en théorie de fiabilité ?

Question n°3 :

Comment construit-on un modèle mathématique de fiabilité ?

Question n°4:

Quelle est votre interprétation économique de la théorie de fiabilité ?

DEUXIEME PARTIE :

**A.-** La représentation de la probabilité de fonctionnement sans défaillance de l'appareil (qui peut tomber en panne de manière aléatoire) est à la base de la théorie de fiabilité.

Pour caractériser la faculté d'exploitation de l'appareil, on introduit la notion "d'indicateur de panne" (ou bien : "indicateur de l'état") qui est une variable aléatoire.

Si l'appareil est en état d'exploitation,  $X=1$ . Dans le cas contraire,  $X=0$ . Par conséquent, la probabilité de fonctionnement sans défaillance de l'appareil n'est rien d'autre que l'espérance mathématique de la variable aléatoire  $X$ .

Première question :

Considérons l'événement  $A$  : (l'appareil est état d'exploitation) et notons  $p=P(A)$

Quelle sera la probabilité de fonctionnement sans défaillance de l'appareil ?

Deuxième question :

La distribution de la durée de service de l'appareil est décrite par la fonction  $F$ .

a) L'appareil est en état d'exploitation s'il fonctionne sans défaillance durant le temps  $t$ .

b) On définit la fonction indicatrice  $X$ ,

$$X(u) = \begin{cases} 0 & , u < t \\ 1 & , u \geq t \end{cases}$$

Quelle sera la probabilité de fonctionnement sans défaillance de l'appareil.



B.- Considérons un système constitué de petit n éléments

$C_1, \dots, C_n$ , et indicateurs des états  $X_1, \dots, X_n$

$$X_i = \begin{cases} 1 & \text{si l'élément } C_i \text{ est en bon état} \\ 0 & \text{si l'élément } C_i \text{ est en panne} \end{cases}$$

La fonction indicatrice  $\varphi$  du système est définie de la manière suivante :

$$\varphi = \begin{cases} 1 & \text{si le système est en état de fonctionnement} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Supposons que les informations sur le système soient suffisantes pour définir ses états en fonction des états de tous les éléments constituant le système. Alors,

$$\varphi = \varphi(x) \text{ où } x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathcal{E}$$

est le vecteur des états du système. La fonction  $\varphi(x)$  est la fonction structurelle du système.

SITUATION A : Les éléments du système sont reliés en série. Quelle est la forme de la fonction  $\varphi(x)$  ?

SITUATION B : Les éléments du système sont reliés en parallèle. Quelle est la forme de la fonction  $\varphi(x)$  ?

SITUATION C : Le système d'éléments liés par le schéma (k parmi n) est en état d'exploitation si, et seulement si, au moins k parmi les n éléments du système sont en bon état.

Remarque.- Ainsi, une liaison en série sera de type (n parmi n) alors qu'une liaison en parallèle sera de type (1 parmi n).

QUESTION : Quelle sera la forme de la fonction  $\varphi(x)$  ?

Donnez une représentation de la fonction structurelle d'un système d'éléments reliés par le schéma (2 parmi 3).

### TROISIEME PARTIE :

Trouvez la probabilité de fonctionnement sans défaillance, ainsi que le risque de panne d'un élément fonctionnant jusqu'à la première panne, pour un fonctionnement T.

a) De distribution normale de paramètres  $T_0=20.000$  cycles,  $\sigma = 2.000$  ;  $T=19.000$  cycles.

b) De distribution lognormale de paramètres  $T_0=5$  et  $\sigma = 1$  ;  $T=150$  unités de temps.

- c) De distribution Weibull de paramètres  $\beta = 4$ ,  $\theta = 2.000$ ,  
 $\xi = 1.000$  ;  $T=1.500$  heures.
- d) De distribution Gamma de paramètres  $\gamma = 3$  et  $\lambda = 0.05$  ;  
 $T=24$  Unités de temps.

#### QUATRIEME PARTIE :

**A .-** On propose aux candidats d'estimer la probabilité de fonctionnement sans défaillance ainsi que le risque de panne dans la situation suivante :

Dans le tableau ci-dessous, on présente les données relatives à la panne de l'arbre moteur de 46 automobiles soumises à l'essai. Dans ce cas concret, une panne est enregistrée au moment où l'usure de l'arbre moteur engendre un bruit sourd :

Données relatives aux pannes de l'arbre moteur

En milliers de Km	Nombre de pannes
$0 < m \leq 20$	19
$20 < m \leq 40$	11
$40 < m \leq 60$	7
$60 < m \leq 80$	5
$80 < m \leq 100$	4
$100 < m$	0

**B .-** Pour un élément fonctionnant jusqu'à la première panne, on a montré (cours) que le risque de panne pouvait être défini par les résultats des essais.

Position du problème :

Supposons que l'on expérimente 1.000 éléments identiques. Durant la première heure, 50 éléments tombent en panne. Après 30 heures de fonctionnement, il ne reste "en vie" que 60 éléments. Dans l'heure suivante, 20 autres éléments tombent en panne.

QUESTION : L'élément est-il plus fiable au début ou bien après 30 heures de fonctionnement ?

#### CINQUIEME PARTIE :

**A .-** En pratique, habituellement, on est amené à choisir la distribution de probabilité sans avoir une masse suffisante de données (qui nous auraient permis de vérifier si le modèle est adéquat).

Question n°1 :

De quelle manière se fait le choix ?

Question n°2 :

Pouvez-vous donner des indications sur la relation qui existe entre le choix (considéré dans la question précédente) et les distributions concrètes que vous connaissez ?

**B .-** On suppose qu'une panne, au niveau d'un vaisseau spatial, apparaît s'il est touché par une météorite suffisamment grosse. Supposons que les météorites sont distribuées uniformément dans l'espace et dans le temps.

Question n°3 :

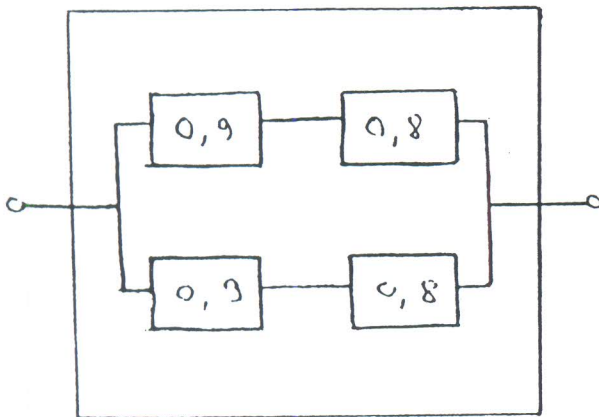
Quelle sera, dans ce cas, la loi de fiabilité ?

Question n°4 :

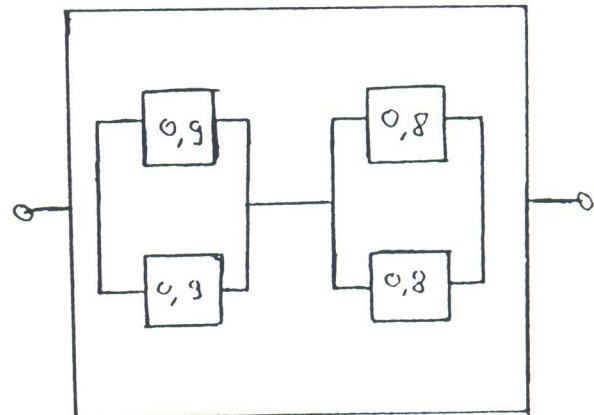
Êtes vous en mesure de donner un modèle qui nous amène à considérer une loi normale de fiabilité ?

SIXIEME PARTIE :

**A .-** Considérons un système constitué de 2 blocs reliés en série. Chacun d'eux a pour fiabilité 0,9 et 0,8.



a)



b)

Question :

Calculez la fiabilité du système dans le cas a) et b) .

B.- La théorie de fiabilité utilise l'appareil de la théorie de files d'attente.

Question n° 1 :

De quelle manière ?

Question n° 2 :

Etes-vous en mesure de donner des indications sur les modèles de fiabilité qui coïncident avec les modèles de files d'attente.

Littérature conseillée (aux étudiants)

D. Aïssani



Probabilités et Statistiques:

- \* Koroliok V.S (collectif), Aide-mémoire en théorie de probabilité et statistiques mathématiques, Ed. Mir, 1983

Fiabilité:

- \* Barlow R. and Proshan F., Théorie mathématique de fiabilité, John Wiley, New York, 1965.
- \* Gnedenko B., Beliaev Y., Soloviev A., Méthodes mathématiques de la théorie de fiabilité, Ed. Mir, 1972.
- \* Kapur K, Lamberson L, Reliability in engineering design, J.W, 1977

Files d'attente:

- \* Kleinrock L, Queueing systems, vol1, Theory and Vol.2: computer application, John Wiley and Sons, 1975
- \* Saaty L., Elements of queueing theory with applications, Mc Gray Hill book comp., I.N.C, 1965
- \* Gnedenko B., Kovalenko I, Introduction to queueing theory, Israël program for scientific translations, Jerusalem, 1968

# MAINTENANCE D'UN RESEAU ELECTRIQUE URBAIN

D. AISSANI et collaborateurs (+)

L.A.M.O.S

Laboratoire de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes  
Université de Béjaia (Algérie)

## Introduction:

La sécurité de l'alimentation en énergie électrique est aujourd'hui l'une des préoccupations majeures de tout pays. C'est pourquoi il devient essentiel d'adapter l'infrastructure de production, de transmission et de distribution de cette énergie aux besoins. A cet égard, les questions de maintenance (protection et analyse de fiabilité) deviennent très importantes, particulièrement dans les conditions Algériennes : augmentation sans cesse croissante des besoins en énergie électrique - 12% par an entre 1970 et 1987 -, passage à l'autonomie des entreprises et à l'économie de marché. [1].

L'objet de cette communication est de traiter le cas d'un réseau de distribution urbain (protection, traitement statistique des données, analyse de fiabilité par application d'une méthode analytique [2] ou de simulation [3], étude technico-économique [4]). Les performances et contraintes d'une telle analyse sont étudiées en interprétant les résultats obtenus sur le réseau MT de la ville de Béjaia.

Ce travail entre dans le cadre de la convention signée entre l'institut d'Electrotechnique de Béjaia et la direction des personnels de SONEGAS et fait partie d'un protocole spécifique en voie de finalisation entre le LAMOS et la direction de distribution de SONEGAS (Alger). Les ingénieurs et techniciens de SONEGAS-Béjaia et de SONEGAS-Sétif (dont dépend le poste 60/30 Kv) ont collaborés à cette étude.

## I - Structure et protection des réseaux MT urbains:

### A - Structure:

A.I - Introduction: Pour des raisons de sécurité et d'esthétique, les réseaux MT urbains sont utilisés en câbles isolés enterrés. La structure de ces réseaux est à un seul type de lignes: les dorsales. Vu leurs constitutions (faible longueur et forte section des conducteurs), ils sont le siège de chutes

-----

(+) Bourdjioua F., Hammache F., Birouche M., Amrane R., Adjabi S., Bouzidi A., Mouhoubi S., Haim K.D., Ayadi L., Mansouri S., Medjoudj R. et Aïssani D.

de tension réduites. C'est pourquoi, en tenant compte de l'importance des incidents (charge coupée et durée d'interruption plus élevée qu'en réseau aérien), il est prévu en général une réalimentation par les réseaux voisins ou par un câble de secours.

#### A.2 - Causes de défaillances des éléments du réseau:

Nous nous limitons ici aux éléments qui seront utilisés dans notre étude. Ce sont le câble MT, la boîte de jonction (BJ), le sectionneur, l'intersect, le disjoncteur et enfin le jeu de barre (JB) MT (pour lequel on a supposé que la fiabilité est égale à 1).

2.1 - Le câble: sa durée de vie dépend des conditions auxquelles il est soumis, de sa jonction avec un autre câble et enfin de son mode de pose.

2.2 - Boîte de jonction: Dans le réseau de Béjaïa, on a, en moyenne, une BJ par 300 m de câble. Ceci explique que la majorité des défauts survenus sur le réseau sont dus à des défaillances à leurs niveaux.

2.3 - Sectionneur: sa défaillance est rare. Elle est due à la détérioration de son isolement ainsi qu'à des contraintes mécaniques.

2.4 - intersect: c'est un appareil de protection

2.5 - Disjoncteur: sa détérioration est due à l'érosion ainsi qu'à des contraintes mécaniques et d'environnement.

2.6 - Jeu de barre: sa défaillance dépend du nombre de cellules qui lui sont connectés. Il sera donc mis hors service si un élément (qui lui est raccordé) tombe en panne.

#### A.3 - Structures utilisables en réseau MT souterrain [5]

En plus des problèmes de coûts, c'est principalement l'expérience d'exploitation qui conduit à choisir la structure la mieux adaptée.

Pour les réseaux MT souterrain, on rencontre notamment:

- structure maillée ;
- structure en épi ;

Remarque: il existe d'autres types de configurations ( voir [5] ).

#### A.4 - Poste de transformation HT/MT :

L'état d'interruption du service du poste résulte de certaines combinaisons d'éléments défaillants. Dès qu'une défaillance survient sur une travée en fonctionnement, un basculement automatique sur celui de réserve est réalisé, suivi d'une réparation de l'élément défaillant.

Ainsi, la défaillance d'un élément d'une cellule de transformation provoque la surcharge des autres cellules. Ceci peut causer la défaillance du système

entier, en fonction de la durée ou la sévérité d'une surcharge.

A.5 - Postes MT/BT urbains : dans le réseau de distribution MT urbain, nous rencontrons trois types de postes :

- poste de distribution publique ;
- poste de livraison : la réglementation de SONELGAZ oblige le client à demander l'installation d'un poste de livraison quand la puissance à consommer est supérieure à 20 Kva.
- poste mixte ;

A.6 - Raccordement des postes MT/BT [6]

- raccordement en coupure d'artère ;
- raccordement en double dérivation

A.7 - Câble MT souterrain : La SONELGAZ utilise le câble sous plomb isolé au papier imprégné tripolaire à champ radial qui présente l'avantage de procurer une excellente mise à la terre grâce à leurs gaines de plomb.

- Mode de pose :
- pose direct dans le sol
  - " sous fourreau
  - " en caniveaux

B - Protection des réseaux MT urbains :

Un système de protection peut être défini comme étant un ensemble de dispositifs plus ou moins complexes, dont le rôle est la mise hors tension immédiate d'un organe ou élément du réseau (quand il devient le siège d'un défaut).

Le choix d'une technique de protection dépend de la configuration du réseau et de l'importance de l'équipement à protéger.

a - Protection des départs MT :

Elle sera assurée par le disjoncteur principal qui se déclenche instantanément dès qu'un défaut survient sur un des tronçons ( ou un des postes MT/BT de ces départs )

b - Protection des postes MT/BT :

Elle consiste essentiellement en la protection du transformateur MT/BT. Ce dernier est l'élément le plus important du poste et en raison de son coût, il est nécessaire de lui assurer une bonne protection.

- protection contre les surintensités
- protection contre les surtensions

II - Présentation du réseau MT de Béjaia : ( voir fig.I)

a - présentation du réseau :

Il s'agit d'un réseau de distribution MT urbain bouclé et alimenté à

partir du poste de transformation 60/30 Kv de Béjaia. Il est constitué de deux départs ville<sup>2</sup> et ville<sup>3</sup> et est entièrement réalisé en souterrain.

Il comporte 27 postes MT/BT dont 14 postes de distribution publiques, 7 postes de livraison et 6 postes mixtes. Ces postes sont raccordés entre eux en coupure d'artère.

A l'état de fonctionnement normal, les deux départs sont séparés l'un par rapport à l'autre par l'intermédiaire d'un interrupteur. Si un départ tombe en panne, l'interrupteur sera fermé et l'alimentation du départ défaillant s'effectuera à partir du départ voisin.

b - nature des défauts:

La plupart des défauts enregistrés par le personnel de SONELGAZ ( voir tableau I, 2 annexe B [3] ), sont des avaries au niveau des câbles. Ces défauts sont causés par des facteurs internes ou externes au réseau.

Facteurs internes:

- points faibles au niveau du câble qui sont dus à des défauts de fabrication ou à une mauvaise opération de pose des câbles.
- court-circuits.

Facteurs externes:

- les accidents (d'ordre mécaniques) provoqués pendant les travaux d'aménagement ou de réparation par les entreprises des travaux publics ou d'hydraulique.

c - Recherche du point de défaut sur le câble MT avarié:

Du fait que les câbles sont isolés et enterrés, la localisation du point de défaut devient difficile. Il faut, en général, utiliser un camion détecteur de défaut.

La localisation est basée sur les mesures de vitesse de propagation d'ondes électromagnétiques dans le câble [12] .

d - Réparation du câble après avarie:

La réparation du câble nécessite la confection à l'endroit du défaut, d'une ou de deux BJ ( selon l'étendu des dégâts au niveau du câble).

III - Présentation du poste de transformation 60/30 Kv: (voir fig.2)

Le poste a été installé en 1952. C'était un poste de répartition fonctionnant en 30 Kv. Il a été modifié en 1976 en poste 60/30 Kv, alimenté par la station 60 Kv de Darguina.

En 1982, une deuxième travée 60 Kv, venant d'EL Kseur est connectée au poste. Ces deux travées fonctionnent en commutation.

IV - Elaboration d'une doctrine de fiabilité:

a - Traitement statistique: [7] .



La récolte des données doit se faire sur une très longue durée ( la plus longue possible). Plus la taille de l'échantillon est grande, plus l'ajustement des distributions classiques serait proche de la réalité.

Dans les différentes études réalisées (voir [2] , [3] , [6] , [9] ), on a supposé que la loi de durée de vie des différents éléments suivent des lois bien connues (exponentielle), ce qui reste à vérifier en pratique, en utilisant le test du Khi deux et de Kolmogorov.

En ce qui concerne la récolte des données:

les données doivent être prélevées à intervalles de temps réguliers, même pour des localités différentes, sauf bien entendu pour les données qui concernent: les pannes, les basculements et les réparations (ces données ne peuvent être relevées à temps réguliers, sauf si ce sont des simulations).

Les informations concernant la manière dont se fait cette récolte doivent être précisées. A titre d'exemple: est-ce la même équipe qui détecte la panne, qui bascule, qui répare pour les différentes localités du réseau électrique (ceci, afin d'éviter de faire des tests qui n'ont aucune signification réelle).

Cette remarque permet de comparer les données enregistrées entre plusieurs localités du réseau électrique ( par exemple, comparer : les temps de basculement entre plusieurs localités, les précisions du temps de réparation ).

Les tableaux présentés dans [3] , page 67 est un bon début pour le traitement statistique, malgré la faiblesse du nombre d'observations et surtout le manque d'information sur la méthode de prélèvement des données. Une caractéristique importante du manque de données dans [13] est le tableau présenté page 31 , où l'on voit une très nette différence entre les données internationales et les données SONELGAZ.

#### b - Récolte des données:

- Pour le poste 60/30 Kv: Le service de maintenance a mis en place des fiches d'intervention qui comportent les informations nécessaires concernant les différents éléments. Ces fiches servent uniquement à assurer le suivi des visites systématiques et de l'entretien préventif des équipements.

exemple: la vidange d'huile d'un disjoncteur est effectuée tous les 2000h ( déclenchement et réenclenchement ).

Les observations doivent être enregistrées sur des fiches. Ces dernières doivent contenir, notamment:

- type d'élément défaillant et nature du défaut constaté ;
- l'instant de défaillance ;
- le temps de réparation ;

- Pour le réseau MT: les données obtenues ont été enregistrées par le personnel d'exploitation sur des fiches :

- instant de défaillance ;
- instant de localisation du défaut ;
- instant de remise en service ;
- l'élément défaillant et nature du défaut constaté ;
- la durée de réparation ;

c - Choix des données selon les normes internationales:

Pour le poste 60/30 Kv, les données obtenus auprès des services concernés de SONELGAZ ne nous permettent pas de faire un programme de fiabilité, du fait que :

- le suivi de la collecte des données a commencé récemment (1984)
- la collecte est faite dans un but administratif (évaluation des dépenses).

C'est pourquoi, nous avons utilisé dans cette étude des données selon les statistiques internationales [14], qui admettent que les temps de bon fonctionnement et de réparation des composants suivent une loi exponentielle. Ceci est généralement vrai du fait que la période d'exploitation normale est relativement longue.

d - Analyse statistique du réseau:

En général, on ne connaît pas à priori la loi de probabilité suivie par les variables aléatoires (TBFr et TRSr), ni les paramètres de cette loi. Pour cela, une analyse des éléments du réseau et une idée sur son fonctionnement nous permettront de choisir la loi à adopter.

On utilisera ici la loi de WEIBULL en raison de sa flexibilité et de sa généralité. Le modèle de Weibull est défini par sa fonction de répartition:

$$F(t) = 1 - \exp(-t/\eta)^\beta .$$

Les paramètres  $\beta$  et  $\eta$  sont estimés à l'aide de la méthode du maximum de vraisemblance et la validité de cette loi est vérifiée à l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov ou de Khi-deux.

e - Analyse statistique du poste 60/30 Kv:

les paramètres  $\beta$  et  $\eta$  sont estimés à l'aide de la méthode des moindres carrés. Les régions de confiance sur ces paramètres ne sont pas connues. Cependant nous déterminons la valeur moyenne et l'écart-type correspondant aux variables aléatoires de chaque élément.

V - Analyse de fiabilité:

A - Pour le poste 60/30 Kv: [9]

L'évaluation de la fiabilité de ce poste concerne la détermination d'une combinaison adéquate de ses éléments constitutifs, dans le but d'alimenter convenablement les différents points de charge, sans violation du niveau de tension, ni surcharge des transformateurs de puissance.

Dans ce sens, on a élaboré plusieurs structures possibles du poste, en ajoutant au système existant (présent) des éléments redondants (ajout d'un jeu de barre, d'un transformateur de puissance, ...). (voir fig.3)

Les indices de fiabilité correspondants à chaque variante sont calculés à l'aide de la méthode de Monte Carlo [15], en se basant sur l'historique des défauts de leurs composants. Ceci permet de faire un choix judicieux entre les différentes variantes, tout en tenant compte des contraintes éventuelles.

Les résultats de l'analyse des données de simulation sur le modèle stochastique fait apparaître des lois de fiabilité pour chaque variante considérée (voir les résultats et courbes dans [9]).

#### B - Pour le réseau MT urbain:

L'analyse de fiabilité sera abordée de deux manières. Précisons néanmoins que lorsque le réseau comprend un nombre d'éléments dont les dépendances sont complexes, il devient très difficile de construire un modèle mathématique. On opte alors pour une méthode de simulation.

##### B -I. Application d'une méthode analytique: [13]

Nous avons montré dans [8] que les indices de fiabilité du réseau de Béjaïa peuvent être calculés par application de la méthode Markovienne. Nous avons ensuite proposés des actions en vue d'une amélioration éventuelle, ceci en tenant compte des moyens d'exploitation dont dispose SONELGAZ.

Pour cela, nous avons:

- mis en évidence les états possibles du réseau ;
- calculé les différents paramètres de transition (taux de défaillance, taux de réparation, taux de basculement) entre états ;
- évalué les indices de fiabilité par application de la méthode de Markov (les calculs numériques nécessitent l'application des méthodes de Kozlov [16], de Gauss et de Runge Kutta) ;
- enfin calculé les nouveaux indices en améliorant le taux de réparation. (voir en détail les résultats et courbes dans [2], [8], [13]).

##### B -2. Application d'une méthode de simulation [3]

L'application de la méthode de Monte Carlo consiste à simuler les défaillances du réseau de distribution MT, afin d'évaluer les indices de fiabilité

- la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBFr) ;
- et de remise en service (TRSr) ;
- le taux de défaillance et de remise en service du réseau ;
- l'indisponibilité et le temps annuel de coupure ;
- la fonction fiabilité  $R(t)$  ;

La simulation a été réalisée sur un ordinateur numérique (Siemens) en turbo pascal version 5.5 1990 Borland International.

Les courbes de fiabilité obtenues avec les données internationales et de SONEGAS montrent l'importance de l'amélioration du taux de défaillance du système (donc des éléments le constituant) pour améliorer la fiabilité du réseau.

Les courbes d'indisponibilité, ainsi que l'évaluation de l'énergie annuelle non distribuée montrent que quand le temps moyen de remise en service du réseau diminue, l'énergie non distribuée ainsi que le temps de coupure pendant une année diminuent.

A cet effet, les actions suivantes peuvent être proposées:

- Action sur le taux de défaillance des éléments du réseau (câble, boîte de jonction, ...), et cela par action sur les techniques et modes de pose de câbles souterrains ainsi qu'à la formation d'un personnel spécialisé chargé de cette tâche (ainsi que de la confection des BJ qui constituent souvent la cause des défaillances du système).
- Action sur le temps de remise en service (temps d'interruption) du réseau par:
  - utilisation au niveau de chaque poste MT/BT de lampes lumineuses
  - utilisation d'un basculement semi-automatique;
  - utilisation d'une radio pour faciliter la tâche du personnel;
  - réalisation d'un tableau synoptique;
  - achat d'un camion détecteur, indispensable pour la localisation du point de défaut afin de procéder éventuellement à la réparation (c'est le cas des postes en antenne).

#### VI - Etude technico-économique: [4]

La décision d'investissement et son caractère optimal ne peuvent s'analyser sans tenir compte des conséquences de cette décision, à la fois sur les frais d'exploitation résultants et sur la gêne économique au niveau de l'utilisateur du réseau.

Ainsi, pour le poste 60/30 Kv, le choix de la variante optimale est sanctionné par une étude technico-économique, faisant intervenir les coûts d'investissement, coût d'exploitation et le coût d'indisponibilité. Ce dernier est déterminé sur la base de l'évaluation des indices de fiabilité. (voir dans [4], l'interprétation complète des résultats).

#### R E F E R E N C E S

- [1]. AISSANI D., Qualité et fiabilité, in revue de la maintenance N°1, 1988, pp. 27-28.

- [2]. BOURDJIOUA F., Mansouri S., AÏSSANI D., Birouche M., sur l'application de la méthode Markovienne pour l'analyse de fiabilité d'un réseau électrique urbain. Proceedings du 3eme colloque maghrebin sur les modèles numériques de l'ingénieur, Tunis, 1991 .
- [3]. BOUZIDI A., MOUHOUBI S., Application de la méthode de Monte Carlo pour l'analyse de fiabilité d'un réseau urbain. Projet de fin d'études ingénieur Institut d'Electrotechnique, Béjaia 1991.
- [4]. Hammache F., Ayadi L., Aïssani D., Haim K.D., Analyse de fiabilité en vue du renforcement du poste 60/30 Kv Sonelgaz-Béjaia; proceedings du 1er colloque international sur l'electrotechnique et sur l'automatique, Alger (Aurassi), I.16, 1990 /
- [5]. Guide technique de SONELGAZ
- [6]. Amrane R., Bensikhaled B., stratégie d'exploitation des réseaux de distribution MT du point de vue fiabilité. Projet de fin d'études ingénieurs, Institut d'Electrotechnique, Béjaia, 1990
- [7]. Adjabi S., Récolte des données pour le traitement statistiques des réseaux électriques. Rapport interne, L.A.M.O.S, Béjaia, 1991 .
- [8]. Mansouri S., Bourdjoua F., Aïssani D., Birouche M., Analyse de fiabilité d'un réseau urbain. Actes du séminaire Algéro-Français d'application des mathématiques et de l'informatique, Blida, 1991 .
- [9]. Ayadi L., Hammache F., Aïssani D., Haim K.D., Analyse de fiabilité d'un poste de transformation HT/MT. Actes du 4eme séminaire national sur l'électricité industrielle, Boumerdes, 1989 .
- [10]. Haim K.D., Analyse de fiabilité pour la planification et l'exploitation des réseaux électriques. Actes de la conférence nationale M.F.S.I ( Modèles de Fiabilité et Sciences de l'Ingénieur), Béjaia, 1988 .
- [11]. Etude de la fiabilité des systèmes énergétiques. NOTE de Sonelgaz, 1979.
- [12]. E.D.F, direction de la production et du transport, méthodes et moyens d'entretien des lignes souterraines, notice technique, fasc. II, pp. 7-9 .

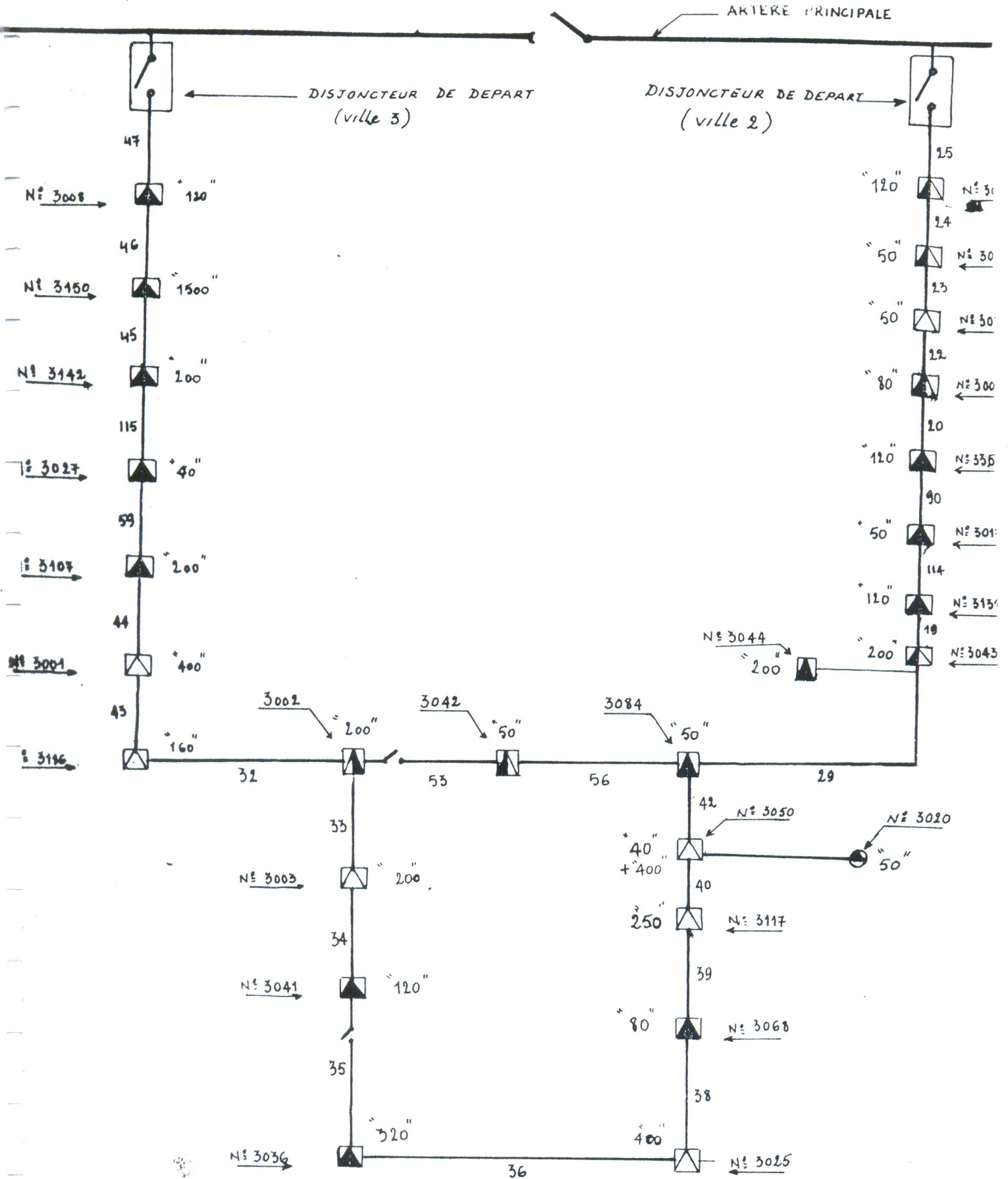
- [13]. Mansouri S. et Bourdjioua F., P.F.E ingénieur, Béjaia, 1990 .
- [14]. Bochanky L., Planung öffentlicher elektroenergieverteilungsnetze, verlag für grundst of industrie Leipzig 1985 .
- [15]. Aïssani D., Modélisation et simulation des systèmes industriels, cours de post-graduation, Université d'Annaba, 1987.
- [16]. Kozlov, Determination of reliability indices of systems with repair, engineering cybernetics, july-august, 1966
- [17]. Billinton R., power systems reliability evaluation, Gordon and Breach, science publishers, 1980

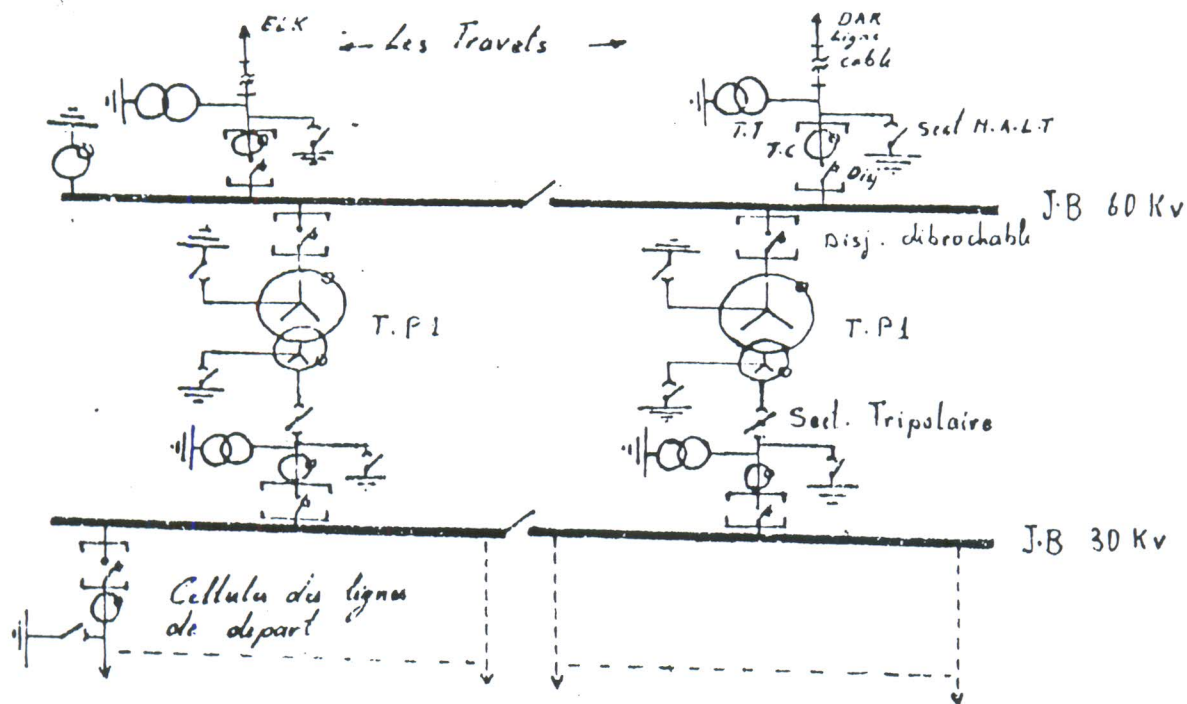
Adresse: Groupe de travail F.S.E<sub>2</sub> (Fiabilité des Systèmes Electro-  
énergétiques)

L.A.M.O.S (Laboratoire de Modélisation  
et d'optimisation des Systèmes)

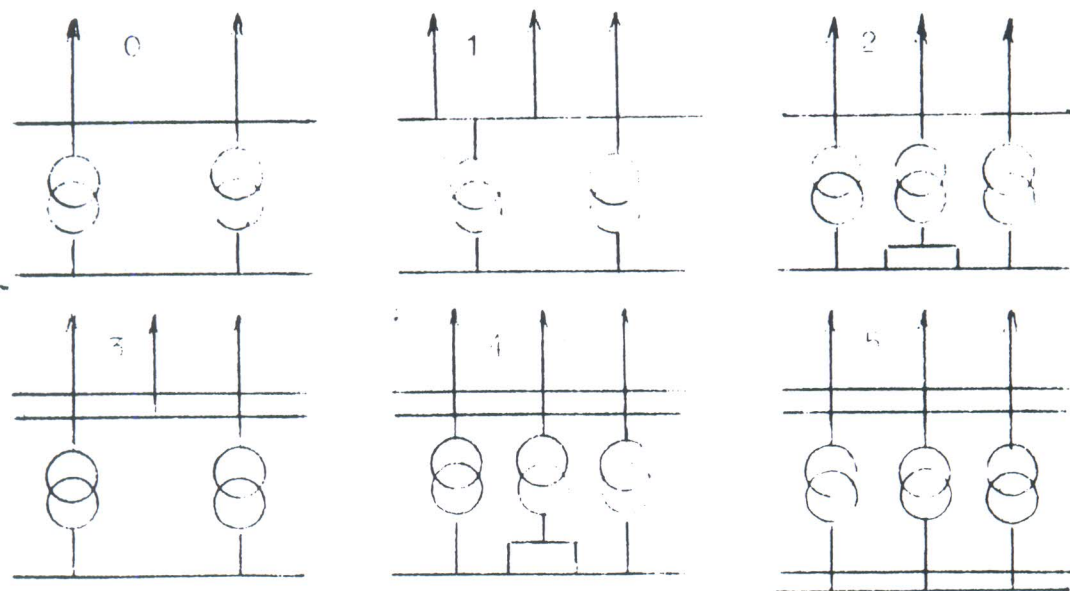
Université de Béjaia (Algérie)

SCHEMA DU RESEAU ETUDIE (ville 2, ville 3)





**Fig. 1 :** Schéma du poste de transformation 60/30 kV



**Fig. 2 :** Variantes pour le renforcement du poste



CHAPITRE II :

***FIABILITE ELECTRIQUE***

II.3. – Le groupe de travail <i>FSE2</i> (Fiabilité Electrique) .....	32
II.4. – Collaboration Lamos Béjaïa – Sonelgaz .....	36



# Le Groupe de Travail $F.S.E_2$ FIABILITE ELECTRIQUE

## Résumé

Cette note présente une brève synthèse des résultats obtenus dans le cadre du groupe de travail  $F.S.E_2$  (Fiabilité des Systèmes Electro-Energétiques). Un document de présentation du groupe a été diffusé lors de la Journée Porte Ouverte sur le Laboratoire de Recherche LAMOS (Béjaïa) en 1991 [2].

## 1 PRESENTATION DU GROUPE $F.S.E_2$

Fondé en 1988 après l'organisation de la Conférence Nationale M.F.S.I (Modèles de Fiabilité et Sciences de l'Ingénieur - Béjaïa, mars 1988) [1], le groupe  $F.S.E_2$  a servi de cadre de travail pour la formation d'une quinzaine d'ingénieurs fiabilistes. Les travaux ont été réalisés en collaboration avec le Centre Sonelgaz de Béjaïa, la Direction Générale de Sonelgaz-Alger ainsi qu'avec le concours de la Faculté Polytechnique de Zittau (Allemagne). (voir [2]).

## 2 INTERET DU THEME DE RECHERCHE

Les problèmes posés par la planification et l'exploitation des réseaux électriques sont très complexes [13]. Le choix d'une configuration de réseau et son équipement doit prendre en compte aussi bien les conditions techniques que les contraintes économiques [6]. C'est pourquoi une analyse de fiabilité devient indispensable. Elle détecte les cas de défaillance entraînant une détérioration de l'état d'exploitation et détermine les mesures à prendre afin de maintenir le réseau dans un état normal.

La Compagnie algérienne d'électricité Sonelgaz a pris conscience de la grande importance des études de fiabilité, non seulement pour la sécurité des systèmes électriques et du personnel, mais également pour la qualité du service et du produit distribué [25]. Or ces éléments sont aujourd'hui plus que jamais d'actualité, en raison notamment des choix récents du pays (autonomie des entreprises et passage à l'économie de marché), de la croissance de la taille du réseau de distribution, des exigences de la clientèle et surtout des objectifs de Sonelgaz elle même [26].

### 3 RESULTATS OBTENUS

La première étude a concerné l'analyse de fiabilité d'un poste de transformation HT/MT [14], [15] puis l'étude technico-économique en vue du renforcement du poste 60/30 Kv Sonelgaz-Béjaïa [7]. Par la suite, le réseau MT de Béjaïa va faire l'objet de l'application d'une méthode analytique [11], d'une méthode de simulation [12] et de l'Unification des modèles de Fiabilité/Réparabilité et Disponibilité [10]. La structure des données disponibles au niveau de Sonelgaz ne permet pas d'aboutir à des résultats exploitables. C'est pourquoi nous avons proposé une technique faisant intervenir des données internationales [17].

Ces travaux préliminaires ont permis de proposer une méthodologie scientifique d'évaluation de la fiabilité des réseaux électriques [18]. Une étude globale d'analyse de fiabilité d'un réseau urbain, allant de la partie protection [4] jusqu'à l'étude technico-économique en passant par la recherche de défauts [20], l'étude statistique [27] et le calcul de répartition de puissance [23] a été réalisée. De nouvelles méthodes et techniques, qui ont fait leurs preuves ces dernières années, ont été adaptées aux conditions de Sonelgaz [18], [16]. Des modèles de prévisions de pannes ont été élaborés et une application au réseau urbain d'Alger a été effectuée [19]. Nous avons notamment interprétés les efforts consacrés actuellement aux réseaux de distribution, à savoir: la restructuration, l'automatisation des réseaux MT et la fiabilisation des ouvrages par des actions d'exploitation et de gestion ainsi que par certaines mesures sur les réseaux [5], [21]. Par ailleurs, les indices de fiabilité ont été optimisés pour minimiser le coût de la durée d'interruption [24], [3], [22].

Signalons pour terminer qu'un travail de synthèse sur la théorie mathématique des réseaux électriques finis a été réalisé [9]. Il s'agissait en particulier d'établir la relation entre les concepts électriques de courant et de tension et les quantités correspondantes décrivant des marches aléatoires considérés comme des chaînes de Markov à espace des états fini [8].

### 4 PUBLICATIONS-COMMUNICATIONS

Les résultats obtenus ont fait l'objet d'une douzaine de communications-publications (dont sept ont été rédigées et présentées par des étudiants de fin de cycles ingénieurs - voir références).

#### Références

- [1] Modèles de fiabilité et sciences de l'ingénieur. – 1988. Actes de la Conférence Nationale M.F.S.I, Béjaïa.
- [2] Groupe de travail f.s.e2. – 1991. Rapport Interne, LAMOS-Béjaïa.
- [3] Aissani (D.), Adjabi (S.), Radjef (M.S.) et Medjoudj (R.). – Développement et application de méthodes mathématiques aux processus industriels. – 1996. Rapport final du Projet de Recherche N B0601/-/01/94, D.R.U, M.E.S.R.S.

- [4] Aissani (D.) et all. – Maintenance d'un réseau électrique urbain. *Actes du Séminaire International sur la Maintenance, Palais des expositions (Pins Maritimes)*, 1991, pp. 01–15.
- [5] Aissani (D.) et all. – Evaluation de l'efficacité et de la performance des systèmes complexes. – 1993. Rapport final du projet de recherche N B0601/-/02/92, D.R.U, Ministère aux Universités.
- [6] Amrane (R.) et Bensikhaled (B.). – *Stratégie d'exploitation des réseaux de distribution MT du point de vue fiabilité*. – Thèse, Institut d'Electrotechnique, Université de Béjaia., 1990.
- [7] Ayadi (L.), Hammache (F.), Aissani (D.) et Haim (K.D.). – Analyse de fiabilité en vue de la restructuration du poste 60/30 kv sonelgaz-béjaia. *Actes du Premier Colloque International sur l'Electrotechnique, Alger (Aurassi)*, 1990, pp. 01–16.
- [8] Birouche (M.). – Réseaux électriques, chaines de markov, unification des modèles de fiabilité/réparabilité et disponibilité. – 1995. Thèse de Magister, Institut de Mathématiques, Université de Constantine.
- [9] Birouche (M.), Aissani (D.), Adjabi (S.) et Radjef (M.S.). – Réseaux électriques, marches aléatoires et réversibilité. – 1994. Rapport Interne N 02-94, LAMOS-Béjaia.
- [10] Birouche (M.), Aissani (D.), Mahdi (M.) et Sandjakeddine (H.). – Unification des modèles de fiabilité/réparabilité et disponibilité pour un réseau électrique urbain. *Actes des Journées de Statistiques Appliquées, Alger (Bab Ezzouar)*, 1994, pp. 126–131.
- [11] Bourdjioua (F.), Mansouri (S.), Aissani (D.) et Birouche (M.). – Application de la méthode markovienne pour l'analyse de fiabilité d'un réseau électrique urbain. *Annales Maghrébines de l'Ingénieur, Numéro hors série., n° 1*, 1991, pp. 53–59.
- [12] Bouzidi (A.), Mouhoubi (S.), Aissani (D.) et Birouche (M.). – Application de la méthode de monte carlo pour l'analyse de fiabilité du réseau mt de béjaia. *Accepté pour communication aux Premières Journées Marocaines de Mathématiques Appliquées, Rabat (Maroc)*, 1992.
- [13] Haim (K.D.). – Analyse de fiabilité pour la planification et l'exploitation des réseaux électriques. *Actes de la Conférence Nationale M.F.S.I, Béjaia*, 1988.
- [14] Hammache (F.), Ayadi (L.), Aissani (D.) et Haim (K.D.). – Analyse de fiabilité d'un poste de transformation ht/mt. *Actes du Quatrième Séminaire National sur l'Electricité Industrielle, Boumerdes.*, 1989.
- [15] Hammache (F.), Ayadi (L.), Aissani (D.) et Haim (K.D.). – Analyse de fiabilité du poste de transformation 60/30 kv sonelgaz-béjaia. *Revue de la Maintenance*, n° 8, 1991, pp. 27–30.
- [16] Jungnckel (V.) et Haim (K.D.). – Z.v. – 1992.

- [17] Mansouri (S.), Bourdjioua (F.), Aissani (D.) et Birouche (M.). – Sur l'application de la méthode markovienne pour l'analyse de fiabilité d'un réseau électrique urbain. *Actes du Séminaire Algéro-Français sur l'Application des Mathématiques et de l'Informatique, Blida.*, 1991.
- [18] Medjoudj (R.). – Calcul et évaluation de la fiabilité d'un réseau électrique urbain. – 1994. Thèse de Magister, Université de Béjaïa.
- [19] Medjoudj (R.), Adjabi (S.) et Aissani (D.). – Modèles statistiques de prévision pour un réseau électrique urbain. *Actes des Journées de Statistiques Appliquées, Alger (Sidi Fredj).*, 1994, p. 124 et suivantes.
- [20] Medjoudj (R.) et Aissani (D.). – Méthodes de recherches des défauts dans un réseau de distribution mt. – 1992. Rapport Interne, LAMOS-Béjaïa.
- [21] Medjoudj (R.) et Aissani (D.). – Calcul des indices de fiabilité d'un réseau électrique de distribution mt. *Proceedings of the Conference CMES'94, Skikda.*, 1994, pp. 07-12.
- [22] Medjoudj (R.), Aissani (D.) et Haim (K.D.). – Restructuration of 10 kv-algiers network. *Proceedings of the International Conference ICEEE'94, Oran*, 1994, pp. 01-07.
- [23] Medjoudj (R.), Aissani (D.) et Haim (K.D.). – Restructuration of mv networks and computation of power repartition. *Proceedings of the AUPTDE-CIRED International Symposium on Electricity Distribution in the Arab Countries, Amman (Jordan)*, 1996.
- [24] Sandjakeddine (H.) et Mahdi (M.). – Optimisation des indices de fiabilité d'un réseau électrique urbain. – 1994. Projet de Fin d'Etudes, Institut National de Planification et de la Statistique, Ben Aknoun.
- [25] Sonelgaz. – Etude de la fiabilité des systèmes énergétiques. – 1979. Rapport N 79-390/GE, Alger.
- [26] Sonelgaz. – Energy is our business. – 1989. Direction Générale, Alger.
- [27] Taazibt (L.) et Abdelli (S.). – Prévision des charges par la méthode du lissage exponentielle. – 1992. Projet de Fin d'Etudes, Institut d'Electrotechnique, Université de Béjaïa.

# Université de Béjaïa

**L.A.M.O.S**

*(Laboratoire de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes)*

## **Bilan de la Collaboration**

### ***LAMOS Béjaïa – Centre Sonelgaz Béjaïa***

**(1988 – 2000)**

Initiée en 1988 par la mise en évidence d'un thème lors de la Conférence National M.F.S.I. (*Modèles de Fiabilité et Sciences de l'Ingénieur* – Béjaïa, Mars 1988), la Collaboration entre le Laboratoire de Recherche **LAMOS Béjaïa** et le Centre **Sonelgaz Béjaïa** a considéré deux axes de recherche fondamentaux :

a) La **Fiabilité Electrique** (voir annexe 1):

Cet axe a connu de très nombreux développements et a abouti à la création d'un groupe de travail spécialisé, le groupe **FSE2** (*Fiabilité des Systèmes Electro-Energétiques*) [1].

b) La **Modélisation des Demandes de Branchement au Réseau Electrique** (voir annexe 2) :

Cet axe a fait l'objet du projet de recherche universitaire N° B 0601/-/01/94, agréé par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique en 1994. Il a fait l'objet d'un rapport final en 1997 (voir [2]). Ce rapport a été évalué positivement par la Commission Spécialisée CNEPRU.

Les travaux réalisés dans le cadre de ces axes ont permis l'extension d'études réalisées sur le réseau de Béjaïa à des études sur le réseau d'Alger (suite à une lettre de Monsieur Benghanem, alors Directeur des Personnels à la Direction Générale d'Alger). Ils ont également permis entre 1989 et 1994 d'assurer l'encadrement d'une dizaine de mémoires et thèses (avec la participation effective des cadres de Sonelgaz, notamment les deux anciens Directeurs du Centre – Messieurs Aïssaoui et Messaoudene) et ont été valorisés par plus de quinze publications et communications (dont 08 à caractère international).

A l'heure actuelle, cette coopération se poursuit en prenant en considération les aspects « *Qualité de Service et Sécurité de Fonctionnement* », notamment dans le cadre d'un nouveau projet de Recherche ANDRU, d'une Thèse de Doctorat d'Etat (R. Medjoudj) et d'un projet relatif à *Negelec (Compagnie Nigérienne d'Electricité)* [6]. Ainsi, des applications des modèles de Chocs [4] et des tests non-paramétriques [5] ont été réalisées.

Une Journée d'Etudes commune sera organisée prochainement pour bien cerner l'orientation à donner à cette coopération (du point de vue formation, lancement d'une Post-Graduation Spécialisée, et du point de vue études, application des méthodes multicritères).

## REFERENCES

- [1] Groupe de Travail FSE2, *La Fiabilité Electrique*. In *Modèles de Fiabilité et Sciences de l'Ingénieur*, Actes de la Journée d'Etudes M.F.S.I'2, Ed. ENITA (E.M.P.), 1997.
- [2] Radjef M.S., Aïssani D., Adjabi S., Medjoudj R., and al., *Développement et Application des Méthodes Mathématiques aux Processus Industriels* (cas de *Sonelgaz*), Rapport Final du Projet de Recherche N° B0601/-/01/94, Béjaïa, 1997.
- [3] Adjabi S., Aïssani D. et Radjef M.S., *Modélisation du Processus de traitement des demandes de branchement à un réseau urbain*, Actes des Journées de Statistiques Appliquées, Bab Ezzouar (Alger), Décembre 1997, pp. 68 et suivantes .
- [4] Medjoudj R. et Aïssani D., *Application des modèles de choc à l'analyse de fiabilité des équipements d'un poste HT*. Actes de la *Troisième Conférence Nationale sur la Haute Tension*, Guelma, Novembre 1999, pp.
- [5] Medjoudj R. and Aïssani D., Proceedings of the Internationale Conference *CIMASI 2000*, Casablanca, October 2000, pp.
- [6] Mamane Souley Ibrahim et Bagnan Ousmane, *La Negelec (Compagnie Nigérienne d'Electricité)*, Rapport de stage, Département de Recherche Opérationnelle et Informatique, Université de Béjaïa, Septembre 2000.



### CHAPITRE III :

#### ***ANALYSE DE FIABILITE D'UN POSTE DE TRANSFORMATION***

III.1. – Analyse de fiabilité d'un poste de transformation HT/MT .....	39
III.2. – Analyse de fiabilité en vue de la restructuration du poste 60/30 Kv – Béjaïa .....	43
III.3. – Modèles de choc à l'analyse de fiabilité des équipements d'un poste HT .....	49

#### ***REFERENCES***

- [1] Hammache F., Ayadi L., Aïssani D., Haim K.D., *Revue de la Maintenance* N° 8, 1991, pp. 27 - 30.
- [2] Hammache F., Ayadi L., Aïssani D., Haim K.D., *Proceedings du Premier Colloque International sur l'Electrotechnique et l'Automatique*, Alger (Aurassi), 1990, pp. 1 - 16.
- [3] Medjoudj R. et Aïssani D., *Application des modèles de chocs à l'analyse de fiabilité des équipements d'un poste HT*. Actes de la *Troisième Conférence Nationale sur la Haute Tension*, Guelma, Novembre 1999, pp.

## Analyse de fiabilité d'un poste de transformation HT/MT.(+)

### Application au poste 60/30 Kv SONELGAZ - BEJAIA. (++)

Par MM. F. H. AMMACHE, L. AYADI, D. AISSAN I, K. D. HAIM  
Laboratoire de Modélisation et d'optimisation des systèmes  
Université de Béjaia (Algérie).

L'objet de cette communication est d'évaluer la fiabilité d'un poste de transformation HT/MT en simulant ses défaillances à l'aide de la méthode de Monte Carlo.

Pour renforcer ce poste, nous avons élaboré plusieurs structures possibles en ajoutant des éléments redoutants, des résultats de l'analyse par simulation font apparaître des indices et des lois de fiabilité (taux de défaillance, indisponibilité, fonction de fiabilité) pour chaque variante considérée.

Une interprétation des résultats obtenus sur le poste de transformation 60/30 Kv SONELGAZ - BEJAIA a été réalisée.

**Mots clés :** Poste de transformation, fiabilité, méthode de Monte Carlo.

#### INTRODUCTION

Le souci primordial pour un poste de transformation ht/mt est de fournir un service fiable à ses clients tout en assurant le transit d'énergie du côté HT au côté MT. En effet, une interruption de service peut causer des préjudices importants pour les consommateurs ainsi qu'un coût onéreux pour la compagnie gérant ce poste.

Lors de l'analyse (étude et planification) en vue du renforcement d'un poste de transformation, l'étude de fiabilité joue un rôle essentiel dans la valorisation de l'énergie non distribuée et par conséquent, dans le choix entre les différentes variantes pro-

posées, sur la base d'une étude technico-économique.

#### 1 - TRAITEMENT DES DONNEES

L'analyse de fiabilité par la méthode de simulation est basée principalement sur l'utilisation d'un grand nombre d'observations concernant les défauts des éléments du poste. Cependant, aucune étude statistique n'a été faite dans ce sens par SONELGAZ; C'est pourquoi nous utilisons dans cette étude des données selon les statistiques internationales (4), qui admettent que les temps de bon fonctionnement et de réparation des composants électro-énergétiques suivent une loi exponentielle. Ceci est géné-

ralement vrai du fait que la période d'exploitation normale est relativement longue.

#### 2 - DESCRIPTION DE LA METHODE DE RESOLUTION (MONTE CARLO) (1)

L'application de la méthode de Monte Carlo comprend deux grandes phases :

- **Génération des variables aléatoires :** La connaissance des lois de distribution exponentielle de chaque élément et la génération des nombres aléatoires  $U_i$  (1), nous permettent de représenter par des variables aléatoires, les temps de bon fonctionnement TBF (1) et de réparation TR(1) attribués à chaque élément :

$$TBF (l) = \frac{1}{\lambda_i} \ln \left( \frac{1}{1 - u_i} \right) \quad (1)$$

$$TR (l) = \frac{1}{\mu_i} \ln \left( \frac{1}{1 - u_i} \right) \quad (2)$$

où  $\lambda$  (respectivement  $\mu$ ) est le taux de défaillance (resp. de réparation)

**- Elaboration d'un modèle de simulation :** Le modèle établi consiste à décrire toutes les relations entre les différents éléments (diagramme de fiabilité). En générant une durée de vie pour chaque élément, nous détectons l'instant de défaillances du poste et déduisons sa durée de vie ainsi que sa durée de réparation.

Après avoir effectué cette opération un grand nombre de fois, nous obtenons un grand nombre de variables aléatoires représentant les temps de bon fonctionnement du système TBFS et de réparation TRS.

Un algorithme nous décrit les différentes étapes du programme.(3)

### 3 - DESCRIPTION DES DIFFERENTES VARIANTES DU POSTE 60 :30 KV

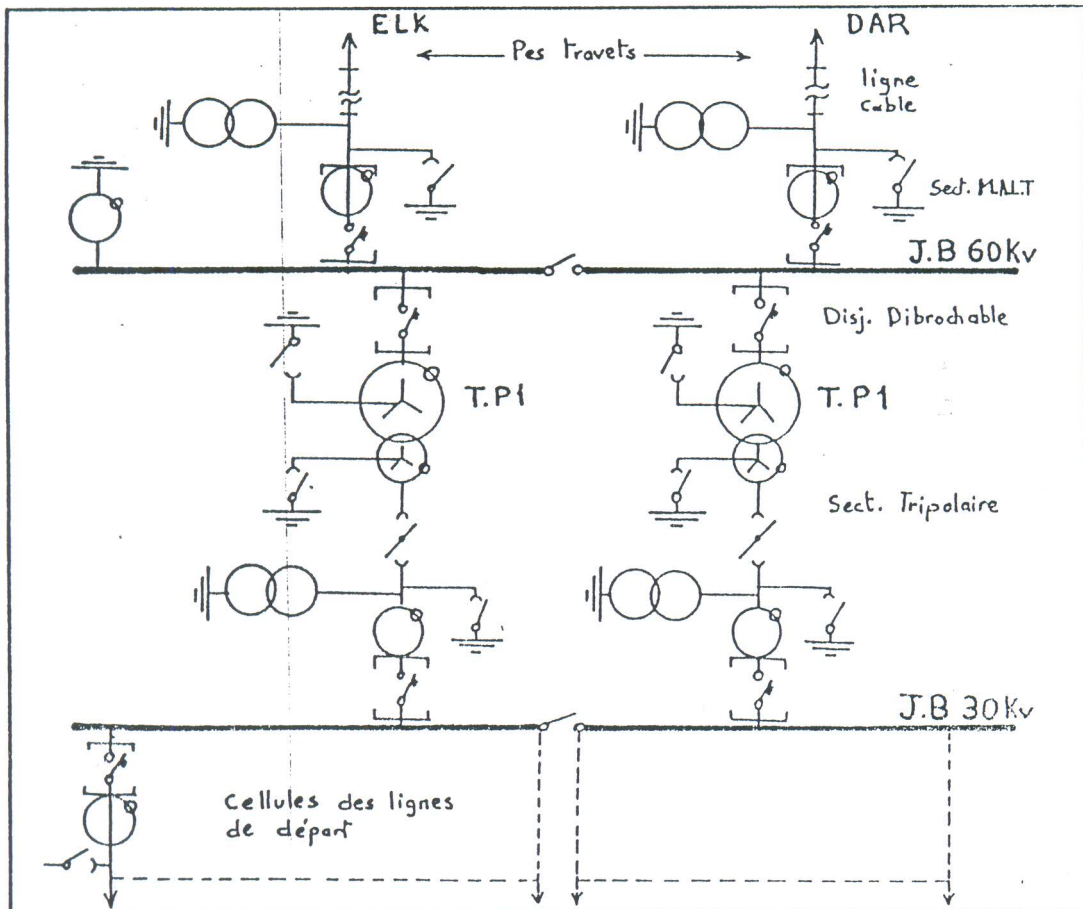
Un poste de transformation HT/MT est constitué généralement d'un ensemble de cellules de lignes (arrivées en HT et départ en MT), raccor-

dées aux jeux de barres (respectivement HT et MT), ainsi qu'un nombre de cellules de raccordement de transformateur de puissance.

L'état normal d'un poste est assuré par le fonctionnement de certains éléments. Ainsi, l'énergie arrivant aux cellules de lignes, s'accumule au niveau du jeu de barre HT puis se répartie sur les différentes cellules du transformateur.

L'état d'interruption de service du poste résulte de certaines combinaisons d'éléments défaillants.

Le schéma du poste initial (**variante1**) est représenté comme suit :



# DOSSIERS

## Variante 2 :

Ajout au poste initial (variante 1) d'une troisième ligne d'alimentation. Cette ligne sera raccordée à l'un des tronçons du jeu de barres 60 Kv.

## Variante 3 :

Cette variante comprend :

- trois cellules de lignes, connectées aux deux jeux de barres 60 Kv par l'intermédiaire de cellules d'aiguillage.

- deux cellules de transformation, raccordées d'un côté aux jeux de barres 60 Kv et de l'autre côté au jeux de barres 30 Kv.

## Variante 4 :

Elle est obtenue en ajoutant à la variante 3, une troisième cellule de transformation et un jeu de barres 30 Kv.

### 4 - ANALYSE DES RESULTATS DE LA SIMULATION

Après avoir obtenu un nombre important de valeurs des temps de bon fonctionnement et de réparation du système :

- a nous ajustons séparément ces variables aléatoires par la fonction de distribution de Weibull, définie par :

$$F(t) = 1 - \exp(- (t/\eta)^\beta) \quad (3)$$

où  $\beta$  et  $\eta$  sont les paramètres de forme et d'échelle.

Cette fonction est connue pour sa propriété d'adaptation à toutes les défaillances possibles survenant sur tout le temps d'exploitation d'un système.

- b Les paramètres caractérisant cette fonction ( $\beta, \eta$ ) sont estimés par la méthode des moindres carrés (5)

- c Nous déterminons tous les indices de fiabilité nécessaires qui décrivent le fonctionnement du système.

La moyenne des temps de bon fonctionnement et de réparation sont déterminées par :

$$MTBF = \eta_1 \cdot X_1, \quad (4)$$

$$MTTR = \eta_2 \cdot X_2.$$

où l'indice 1 (respectivement 2) caractérise la variable aléatoire de temps de bon fonctionnement (respectivement de réparation)

Les écarts type sont calculés d'après :

$$S_1 = \eta_1 \cdot X_1,$$

$$S_2 = \eta_2 \cdot X_2.$$

Ici, les valeurs de X et de Y sont déterminées à partir des formules suivantes :

$$X = G \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (5)$$

$$Y = \sqrt{G(1 + 2/\beta) - G(1 + 1/\beta)^2}$$

où G représente la loi gamma (5).

L'indisponibilité de chaque variante se calcule à l'aide de la formule :

$$\bar{D} = \frac{MTTR}{MTBF + MTTR}$$

## CONCLUSION

Nous remarquons d'après les courbes de la fonction de fiabilité (figure 1) et du taux de défaillance (figure 2) que la fonction de distribution suivie par la défaillance du poste est (visiblement) une loi exponentielle.

Nous pouvons apprécier la différence entre les différentes variantes en procédant à la comparaison des MTBF et du temps annuel de coupure (voir tableau). Nous constatons que la quatrième variante est la meilleure du point de vue fiabilité. Néanmoins, le choix de la variante optimale ne pourra se faire qu'après une étude technico-économique (2), (6) ■

## Références

(1) AISSANI D. Modélisation et simulation des systèmes industriels, cours de post-graduation, université d'Annaba, 1987.

(2) KOULIEV A., Problèmes de fiabilité des S.E.E et orientations, actes de la conférence nationale M.F.S.I, modèles de fiabilité et science de l'ingénieur, Béjaia, 1988, pp.

(3) AYADI L. - HAMMACHE F. Analyse de fiabilité d'un poste de transformation HG/MT, Projet de fin d'études, Bejaia, 1989.

(4) BOCHANKY, Planing öffentlichen elektroenergie ver teilungsnetze verlag für grunvsenff industrie leipzig, 1985.

(5) LIGERON J.C, DELAGE A. NEFF H. la fiabilité en exploitation, organisation et traitement des données, T et D, Lavoisier, PARIS, 1984.

# DOSSIERS

(6) HAMMACHE F. AYADI L. AISSANI D. HAIM K.D Analyse de fiabilité en vue du renforcement du poste 60/30 Kv SONELGAZ - BEJAIA, Proceedings du 1er colloque International sur l'électrotechnique et sur l'automatique, Alger (Aurassi), U990, 1.16.

(+) Ce travail a fait l'objet d'une communication au 4ème séminaire national sur l'électricité industrielle, Boumerdes, 1989.

(++) Ce travail entre dans le cadre de la convention signée avec la division des personnels Sonelgaz

et fait partie d'un protocole spécifique en voie de finalisation entre le LAMOS - Béjaia et la direction de la distribution SONELGAZ Alger. L'étude technico-économique est publiée dans (6)

## Les Editions **HAMDANE & BOUZERNA**

41, Boulevard des Martyrs, Alger

Téléphone : 59 12 81 & 59 18 10

Vous proposent

un service complet pour les travaux de :

### Saisie, Traitement de Texte et Mise en Page

Grâce à leurs Logiciels nombreux et variés de Publication Assistée par Ordinateur ( P.A.O.) et à leur Imprimante Laser, les Editions **Hamdane & Bouzerna** assurent la conception et la réalisation de maquettes et la photocomposition, en langues nationale et étrangères, de :

- Ouvrages (Scientifiques, Techniques et Littéraires)
- Mémoires
- Rapports
- Journaux
- Revues Spécialisées
- Notices Techniques
- Brochures Publicitaires
- Cartes de visite
- Imprimés Administratifs etc.

Les Editions **Hamdane & Bouzerna** ont réalisé la conception et la photocomposition de la présente Revue éditée par l' I.N.M.A.

# ANALYSE DE FIABILITE EN VUE D'UN RENFORCEMENT DU POSTE

DE TRANSFORMATION 60/20 KV DE BEJAIA

F. HAMMACHE, L. AYADI, D. AISSANI, K.D. HAIM

I.N.E.S de Bejaia

## RESUME :

L'objet de cette communication est la décision technico-économique du renforcement d'un poste de transformation HT/MT sous l'aspect d'une valorisation de la fiabilité d'alimentation en énergie électrique.

On a élaboré plusieurs structures possibles en ajoutant des éléments redondants. Les résultats de l'analyse par simulation font apparaître des indices et des lois de fiabilité (taux de défaillance, indisponibilité, etc...) pour chaque variante considérée.

Mots Clés : Poste de transformation, Fiabilité méthode de Monté Carlo.

## INTRODUCTION :

Le souci primordial pour un poste de transformation HT/MT est de fournir un service fiable à ses clients tout en assurant le transit d'énergie du côté HT au côté MT. En effet, une interruption de service peut causer des préjudices importants pour les consommateurs ainsi qu'un coût onéreux pour la compagnie gérant ce poste. Lors de l'analyse (étude et planification) en vue du renforcement d'un poste de transformation l'étude de fiabilité joue un rôle essentiel dans la valorisation de l'énergie non distribuée et par conséquent, dans le choix entre les différentes variantes proposées, sur la base d'étude technico-économique.

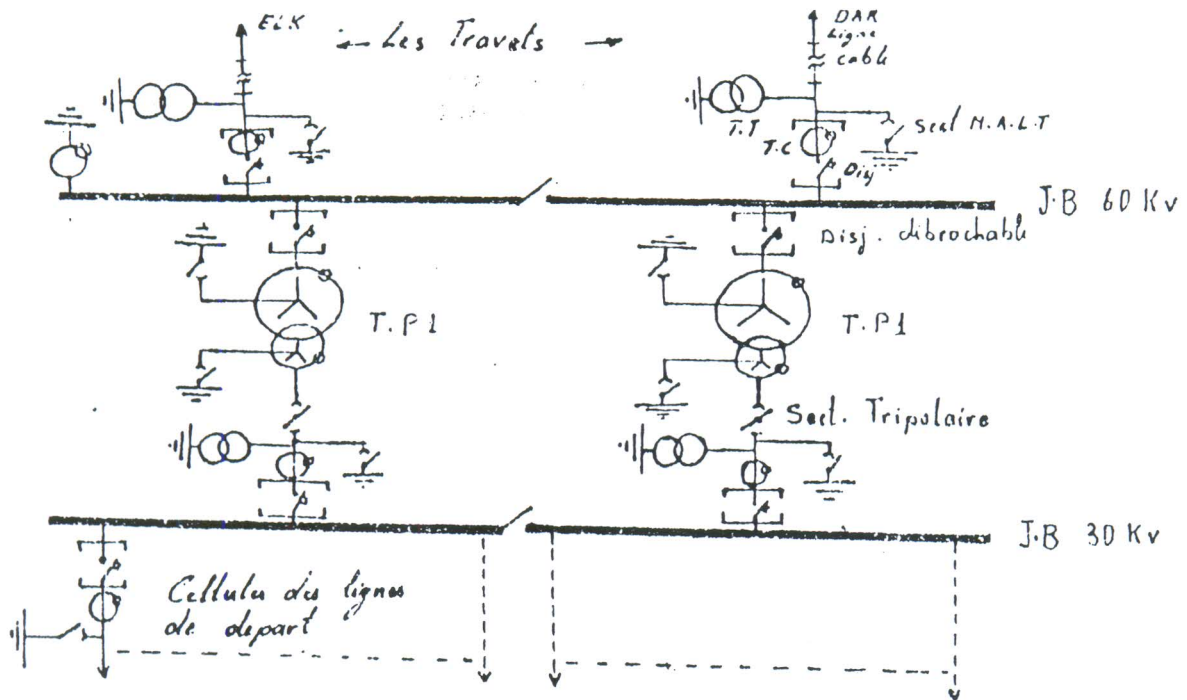
## 1. PRESENTATION DU POSTE ET DES VARIANTES DE RENFORCEMENT

Un poste de transformation HT/MT est constitué généralement d'un ensemble de cellules de lignes (arrivées en HT et départs en MT), raccordées aux jeux de barres (respectivement HT et MT) ainsi qu'un nombre de cellules de raccordement de transformateur de puissance.

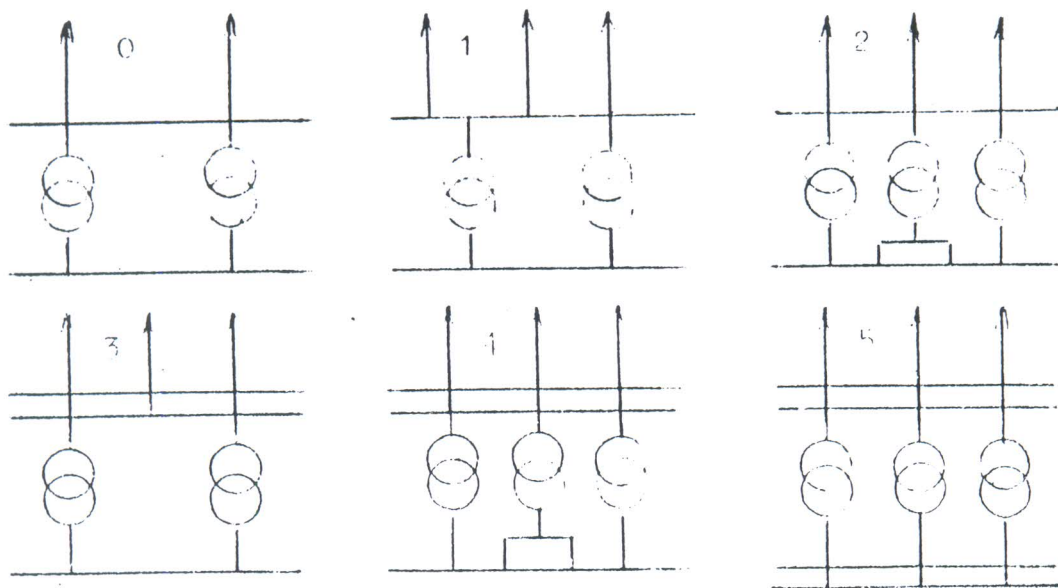
L'état d'interruption de service du poste résulte de certaines combinaisons d'éléments défaillants.

Le schéma du poste, qui exige un renforcement concernant la puissance transitée ainsi que la fiabilité garantie par ce poste, est montré par la figure 1.

la figure 2 présente les 5 variantes élaborées réalisant une fiabilité plus élevée de l'ordre croissant.



**Fig. 1 :** Schéma du poste de transformation 60/30 kV



**Fig. 2 :** Variantes pour le renforcement du poste

## 2. ANALYSE DE FIABILITE

### 2.1. Traitement des données

L'analyse de fiabilité par la méthode de simulation est basée principalement sur l'utilisation d'un grand nombre d'observations concernant les défauts des éléments du poste. Cependant aucune étude statistique n'a été faite dans ce sens par SONELGAZ. C'est pourquoi nous avons utilisé dans cette étude des données selon les statistiques internationales [1], qui admettent que les temps de bon fonctionnement et de réparation des composants suivent une loi exponentielle. Ceci est généralement vrai du fait que la période d'exploitation normale est relativement longue.

### 2.2. Description de la méthode Monté Carlo [2]

L'application de cette méthode comprend deux grandes phases :

- Génération des variables aléatoires : la connaissance des lois de distribution exponentielle de chaque élément et la génération des nombres aléatoires  $U_i$  nous permettent de représenter par des variables aléatoires, les temps de bon fonctionnement TBF(I) et de réparation TR (I), attribués à chaque élément

$$TBF(I) = \frac{1}{\lambda_i} \ln \left( \frac{1}{1 - U_i} \right) \quad TR(I) = \frac{1}{\mu_i} \ln \left( \frac{1}{1 - U_i} \right)$$

où  $\lambda$  (respectivement  $\mu$ ) est le taux de défaillance (resp. de réparation)

- Elaboration d'un modèle de simulation :

Le modèle consiste à décrire toutes les relations entre les différents éléments (diagramme de fiabilité). En générant une durée de vie pour chaque élément, nous détectons l'instant de défaillance ainsi que sa durée de réparation.

Après avoir effectué cette opération un grand nombre de fois, on obtient un nombre de variables aléatoires représentant les temps de bon fonctionnement du système TBFS et de réparation TRS.



### 2.3. Analyse des résultats de la simulation

Après avoir obtenu un nombre important de valeurs des temps de bon fonctionnement et de réparation du système :

- a) nous ajustons séparément ces variables aléatoires par la fonction de distribution de Weibull, définie par :

$$F(t) = 1 - \exp(-(t/\eta)^\beta)$$

où  $\beta$  et  $\eta$  sont les paramètres de forme et d'échelle.

Cette fonction est connue pour sa propriété d'adaptation à toutes les défaillances possibles survenant sur tout le temps d'exploitation d'un système.

- b) Les paramètres caractérisant cette fonction ( $\beta, \eta$ ) sont estimés par la méthode des moindres carrés [3].  
c) Nous déterminons tous les indices de fiabilité nécessaires qui décrivent le fonctionnement du système.

L'indisponibilité de chaque variante est montrée par le Tableau 1.

### 3. DECISION TECHNICO-ECONOMIQUE

Pour une partie d'un réseau ou bien pour un poste, la décision d'investissement et son caractère optimal ne peuvent s'analyser sans tenir compte des conséquences de cette décision à la fois sur les frais d'exploitation résultants et sur la gêne économique au niveau de l'utilisateur du réseau.

En plus il faut comparer des évolutions du poste sur une période plus ou moins longue. C'est pourquoi on utilise le coût total actualisé :

$$C = \sum_{n=1}^N \frac{I(n) + E(n) + G(n)}{(1+i)^n} - \frac{V(N)}{(1+i)^N}$$

$I(n)$  - investissement effectués durant l'année  $n$

$E(n)$  - frais d'exploitation pendant l'année  $n$

$G(n)$  - gêne ressentie par l'utilisateur pendant l'année  $n$

$N$  - l'année finale de l'étude (25 ans)

$V(N)$  - valeur d'usage du poste à l'année  $N$

$i$  - taux d'actualisation (10 %)

La gêne économique pour les variantes présentées s'obtient à l'aide d'une valorisation de l'indisponibilité ou bien de l'énergie non distribuée

$$G(n) = \alpha \cdot \bar{P}(n) \cdot t_{c\Sigma}(n)$$

$\alpha$  - coût attribué à chaque kilowattheure coupé

$\bar{P}(n)$  - puissance moyenne de coupure à l'année n

$t_{c\Sigma}(n)$  - somme de toutes les coupures pendant l'année n.

Malgré les incertitudes d'une telle valorisation, la prise en compte de la gêne économique dans le critère de décision constitue une amélioration considérable des méthodes de planification par rapport à l'application des règles, telles que : le réseau (ou le poste doit pouvoir faire face à la perte d'un élément (ou de deux de ses éléments suivant l'importance du poste) [4]. Les résultats pour les 5 variantes présente le tableau 1.

	1	2	3	4	5
Coût d'invest.	3740	11700	10150	13200	15160
Coût d'exploit.	2105	1961	2105	1961	1961
Indisponibilité	2,32	1,58	1,57	1,29	1,20
Gêne Econo.					
$\alpha = 0,26$ DA/kWh	102	69	69	57	53
$\alpha = 5,-$ DA/kWh	1974	1345	1335	1098	1021
Coût Total					
$\alpha = 1$	10948	13731	12324	15218	17174
$\alpha = 2$	12819	15008	13590	16259	18142

Tab.1: Comparaison des variantes (avec indisponibilité en  $10^{-5}$  et le coût en  $10^3$  DA) [5].

## CONCLUSION

Sans connaître la valorisation exacte de l'énergie non distribuée en Algérie, on peut dire que la variante 1 est optimale pour  $\alpha < 11,-$ DA. Mais pour une meilleure commodité d'exploitation du poste et en supposant que la valeur de  $\alpha$  est probablement plus élevée que 11,-DA on a recommandé la variante 3.

## REFERENCES

- [1] L. BOCHANKY, Planung öffentlicher Electroenergieverteilungsnetze Verlag für Grundst of findustrie Leipzig 1985
- [2] D. AISSANI, Modélisation et Simulation des Systèmes Industriels, cours de Post-Graduation Université d'ANNABA, 1987
- [3] J.C. LIGERON, La fiabilité en exploitation, Organisation et Traitement des données  
T et D.  
A. DELAGE, Lavoisier, PARIS 1984.  
H. NEFF,
- [4] J.C. LEMOINE Réseaux de distribution, Structure et planification, Techniques de l'Ingénieur 9-1978.
- [5] AYADI, L. HAMMACHE, F. AMGHAR, KHALED  
Analyse de fiabilité d'un poste HT.  
Redimensionnement du poste 60/30 kV. Projets de fin d'étude, Béjaïa 1989.

# Application des Modèles de Chocs à l'Analyse de Fiabilité des Equipements d'un Poste HT

Rabah MEDJOUJ et Djamil AISSANI

L.A.M.O.S

*Laboratoire de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes*  
Université de Béjaïa, 06 000

## Résumé :

Les équipements d'un poste électrique sont souvent sujet à une dégradation due à une surtension ou une surintensité, suite à un coup de foudre ou à un court-circuit. Dans cette communication, on se limitera à l'analyse des courants de court-circuit et des conséquences occasionnées sur les contacts d'un disjoncteur HT et sur le support de jeux de barres. Il s'agit d'étudier deux variables aléatoires indépendantes, à savoir (cf. [4]) : l'amplitude du courant de court-circuit et la fréquence d'apparition des courts-circuits représentés par des Modèles de chocs (cf.[1]). Ces derniers permettent d'étudier la loi de la durée de vie de l'équipement dans une horloge usuelle, en temps continu, en fonction de la loi des arrivées des chocs et de la loi du numéro du choc mortel.

**Mots clés :** Réseau électrique, court-circuit, dégradation, fiabilité, lois non paramétriques.

## **Introduction :**

Des surtensions ou des surintensités (courants de court-circuit ou courants de surcharges) qui peuvent solliciter un équipement en un point bien déterminé d'un poste électrique sont étudiés suivant leurs amplitudes et leurs fréquences d'apparition.

Prenons le cas d'un court-circuit et étudions les conséquences occasionnées sur un appareil de protection (Disjoncteur) et un équipement mécanique (Support d'un jeu de barres). Dans ce cas, on définit deux variables aléatoires, à savoir :

- Amplitude du courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ) déterminée lors de l'analyse des défauts [5]. C'est une variable aléatoire continue à valeurs positives et bornée supérieurement pour des raisons physiques.

$$I_{cc} = \text{Max} ( I_{cc}^3 \varphi , I_{cc} \varphi - T' ).$$

- Fréquence d'apparition des défauts. Ces derniers sont supposés distribués suivant un processus de poisson homogène à paramètre constant  $\lambda$ . Cette hypothèse a été développée dans [4] et des résultats de calcul de fiabilité par l'application des lois paramétriques ont été obtenus mais jugés par l'auteur, trop éloignés de la réalité.

Un Disjoncteur est conçu pour résister au courant de défaut maximal. Les sollicitations thermomécaniques vont conduire à l'usure progressive de ses parties actives ( les contacts et le diélectrique dans la chambre d'extinction de l'arc électrique). Le support des jeux de barres, quant à lui, est sensible à des contraintes électromagnétiques rares mais extrêmes. Ces dernières exprimés par  $E \text{ max} = KI^2 \text{ max}$  vont conduire à sa rupture brutale.

Dans cette communication, on modélise ces sollicitations et ces contraintes par des Modèles de chocs et à la différence de [4], on applique ici des lois non paramétriques (cf. [1]).

### I) Distributions non paramétriques IFRA, DFRA, NBU, NWU, NBUE, NWUE, NBUC et NWUC.

Ces classes de distributions de survie expriment une propriété qualitative d'un équipement à l'image de la jeunesse, la maturité ou la vieillesse. Une distribution  $H$  de moyenne  $\mu$  est dite :

(i) IFRA, Increasing Failure Rate ( resp. DFRA, Decreasing Failure Rate), si :

$\Lambda(t) = -\frac{1}{t} \log \bar{H}(t)$  est non décroissant en  $t$ ,  $t > 0$  ( resp. est décroissant en  $t$  )

(ii) NBU, New Better than Used ( resp. NWU, New Worse than Used ) si :

$\bar{H}(x+y) \leq$  ( resp.  $\geq$  )  $\bar{H}(x) \cdot \bar{H}(y)$  pour  $x \geq 0$  et  $y \geq 0$ .

(iii) NBUE, New Better than Used in Expectation, ( resp. NWUE, New Worse than Used in Expectation ) si :

$\int_0^{\infty} \bar{H}(x) dx \leq$  ( resp.  $\geq$  )  $\mu \bar{H}(t)$ ,  $\forall t \geq 0$

(iv) NBUC, New Better than Used in Convex Ordering ( resp. NWUC, New Worse than Used in Convex ) si :

$\int_x^{\infty} \bar{H}(t+y) dy \leq$  ( resp.  $\geq$  )  $\int_x^{\infty} \bar{H}(t) dy$ ,  $\forall x \geq 0$ .

Où :

$\bar{H}(t)$  est la probabilité de défaillance avant  $t$ ,  $\bar{H}(t) = 1 - H(t)$  est la probabilité de fonctionnement continu durant  $[0, t]$  ( fonction de fiabilité ), et  $\mu = \int_0^{\infty} \bar{H}(t) dt$  est la durée de vie moyenne

### II) Modèles de chocs :

Soit un équipement sujet à des chocs qui se produisent à des dates aléatoires  $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n \leq \dots$ , formant un processus

homogène de poisson de taux constant  $\lambda$ . Le  $i^{\text{ème}}$  choc produit un dommage aléatoire  $X_i$ , avec :  $X_1, X_2, \dots, X_N$  sont des variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées. L'équipement est défaillant lorsque le dommage cumulé dépasse un niveau spécifié  $x$  (seuil critique). L'usure est alors définie par :

$$U(t) = \sum_{i \leq N(t)} D_i \quad (2.1)$$

où :

$N(t)$  : le nombre de chocs survenus dans l'intervalle  $[0, t]$ ,

$D_i$  : les dommages occasionnés avant l'instant  $t$ .

La probabilité que l'équipement fonctionne sans défaillance dans  $[0, t]$  (fiabilité) est donnée par :

$$\bar{H}(t) = \sum_{k=0}^{\infty} e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^k}{k!} F^{(k)}(x), \quad (2.2)$$

où :

$k$  : le nombre de chocs,

$e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^k}{k!}$  : la probabilité que l'équipement a subi  $k$  chocs dans l'intervalle  $[0, t]$ ,

$F^{(k)}(x) = F(x) * \dots * F(x)$  ( produit de convolution de  $F$ ,  $k$  fois : la probabilité que les dommages cumulés ne dépassent pas le seuil critique  $x$ .

$$F^{(0)}(x) = 1, \quad x \geq 0$$

$$F^{(0)}(x) = 0, \quad \text{ailleurs}$$

On distinguera plusieurs cas à étudier suivant la nature de la distribution du nombre de chocs  $N(t)$ , de la distribution des dommages  $F(x)$  et de la probabilité de survie après  $k$  chocs que l'on notera  $\bar{P}_k = F^{(k)}(x)$ .

### III) Application aux équipements d'un poste HT :

L'usure ( $U$ ) des contacts d'un disjoncteur est une fonction monotone croissante de l'amplitude du courant de court-circuit ( $I$ ) et du nombre de manœuvres ( $N$ ) [4]. On assimile la

manœuvre à un choc et l'usure à un dommage et on a :

$$U \cong K.N.I^\alpha \quad (3.1)$$

avec :  $K$  une constante.

La défaillance du disjoncteur survient pour une valeur spécifiée  $U = U_0$ . Elle correspond à la somme d'un nombre aléatoire ( $N$ ) de variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées ( $I^\alpha$ ).

$$U(N) = I_1^\alpha + I_2^\alpha + \dots + I_N^\alpha \quad (3.2)$$

d'où :

$$U(t) = \sum_{i \leq N(t)} D_i \quad (3.3)$$

La variable aléatoire  $N$  est indépendante de ( $I_k^\alpha$ ), sa distribution est :

$$G(n) = P(N = n) \quad (3.4)$$

Alors : la distribution de l'usure est :

$$F(u) = \sum_{n=0}^{\infty} F(u/n).G(n) \quad (3.5)$$

Pour un exemple de jeux de trois barres, les efforts électromagnétiques sont données par les expressions suivantes :

$$E_1 = -E_3 = \frac{\mu_0}{2\pi d} (I_1 I_2 + \frac{1}{2} I_1 I_3)$$

$$E_2 = \frac{\mu_0}{2\pi d} (I_2 I_3 - I_1 I_2).$$

Les contraintes maximales sont :

$$E_1 \max = \frac{0.81\mu_0}{2\pi d} I^2 \max \quad (3.6)$$

$$E_2 \max = \frac{0.87\mu_0}{2\pi d} I^2 \max \quad (3.7)$$

où :

$d$  : la distances entre les barres.

Lors d'un court-circuit ces contraintes deviennent intenses et on les désignes par :

$$X \cong K.I^2 \quad (3.8)$$

où :  $K$  est une constante.

La défaillance sera atteinte pour une valeur extrême du courant, telle que la contrainte dépasse une seule fois la valeur de tenue spécifiée ( $X_0$ ). La distribution des amplitudes maximales  $X_1, X_2, \dots, X_N$  est issue de la distribution continue  $F(x)$ . Alors, la probabilité de survie à la contrainte ( $X < X_0$ ) est

$$\bar{H}_x(t) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^n}{n!} [F(x)]^n \quad (3.9)$$

Pour une unité de temps, cette probabilité devient :

$$\bar{H}(x) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{-\lambda} \frac{\lambda^n}{n!} [F(x)]^n \quad (3.10)$$

Cette dernière est issue du développement limité de  $\bar{H}(x) = e^{-\lambda[1-F(x)]}$ . La moyenne et la variance en fonction du nombre aléatoire de défauts ( $N_x$ ), dont l'amplitude est supérieure à ( $x$ ), sont :

$$\mu_x = \mu_N [1 - F(x)] \quad (3.11)$$

$$\sigma_x^2 = \mu_N.F(x)[1 - F(x)] + \sigma_N^2 [1 - F(x)]^2 \quad (3.12)$$

La période séparant en moyenne les défauts est  $T_x \cong \frac{1}{\mu_x}$ . (3.13)

### III.1) $\{N(t)\}$ Processus Poissonien et $F$ exponentielle :

Dans le cas de l'usure des contacts , les solutions analytiques correspondant à  $F(u)$  exponentielle sont inutilisables car trop éloignées de la réalité [4].

Pour le cas de la rupture du support de jeux de barres avec,  $X \cong K.I^2$ . Si  $F(x)$  est une distribution exponentielle de paramètre  $\beta$  (hypothèse éloignée de la réalité [4]), on a :

$$\bar{H}(x) = \exp\{-\lambda e^{-\beta x}\} \quad (3.14)$$

Alors, la probabilité d'apparition d'un défaut d'amplitude supérieure ou égale à ( $x$ ) dans une période égale à ( $T$ ) unités de temps est :

$$\bar{H}(x) = P(X \geq x/T) = 1 - \exp\{-\lambda.T.e^{-\beta x}\} \quad (3.15)$$

Cette distribution est celle des valeurs extrêmes maximales (type I de Gumbel).

### III.2) $\{N(t)\}$ Processus Poissonien et $F$ quelconque :

Dans le cas de l'usure progressive, la probabilité de survie de l'équipement donnée par :

$$\bar{H}(t) = \sum_{k=0}^{\infty} e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^k}{k!} F^{(k)}(x) \quad (3.16)$$

est IFRA , car du lemme (3.7) dans [2], résulte que

$[F^{(k)}(x)]^k$  est décroissant en  $k = 1, 2, \dots$

De ce fait, du théorème (3.6) de [2], on aura :

$\{\bar{H}(t)\}$  est décroissant en  $t > 0$ .

Donc  $\frac{1}{t} \log \bar{H}(t)$  est décroissant en

$t > 0$ . Alors  $\Lambda(t) = -\frac{1}{t} \log \bar{H}(t)$  est non

décroissant en  $t > 0$ . Ce qui correspond à la définition de la distribution IFRA. Cela signifie que, plus le nombre de chocs augmente plus le taux de défaillance augmente en moyenne

### III.3) $\{N(t)\}$ Processus Poissonien et $\bar{P}_k$ Quelconque :

Soit  $\bar{P}_k$  la probabilité de survie après  $k$  chocs, où :  $1 = \bar{P}_0 \geq \bar{P}_1 \geq \dots$ . Alors, la probabilité de survie de l'équipement dans l'intervalle  $[0, t]$  est donnée par :

$$\bar{H}(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \bar{P}_k \cdot e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^k}{k!} \quad (3.17)$$

(i) Si  $\bar{P}_{k+l} \leq (\geq) \bar{P}_k \cdot \bar{P}_l$ ,  $k, l = 0, 1, 2, \dots$ , on dira que  $H$  est NBU ( resp. NWU).

Si on compare deux systèmes  $(S_1)$  et  $(S_2)$  où,  $(S_1)$  est constitué d'un disjoncteur, auquel on fait subir  $k+l$  chocs. On calcule sa probabilité de survie et on trouve  $\bar{P}_{k+l}$ .  $(S_2)$  est constitué d'un disjoncteur auquel on fait subir  $k$  chocs, puis on le remplace par un autre disjoncteur auquel on fait subir  $l$  chocs et on calcule les probabilités de survie aux chocs,  $\bar{P}_k$  et  $\bar{P}_l$ . Par conséquent la probabilité de survie du système  $(S_2)$  est  $\bar{P}_k \cdot \bar{P}_l$ .

Si  $\bar{P}_{k+l} \leq \bar{P}_k \cdot \bar{P}_l$ ,  $k, l = 0, 1, 2, \dots$ , alors, le système  $(S_2)$  est meilleur que le système  $(S_1)$ , donc il est préférable de changer le disjoncteur après  $k$  chocs. Dans le cas contraire, si  $\bar{P}_{k+l} \geq \bar{P}_k \cdot \bar{P}_l$ , il est préférable de laisser fonctionner le disjoncteur après  $k$  chocs, que de le changer par un autre nouveau.

(ii) Si  $\bar{P}_k \sum_{j=0}^{\infty} \bar{P}_j \geq (\leq) \sum_{j=k}^{\infty} \bar{P}_j$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$ , on dira

que  $H$  est NBUE ( resp. NWUE).

Dans ce cas, au lieu de comparer les probabilités de survie des disjoncteurs après  $k$  chocs, on compare les valeurs moyennes des durées de vie de ces derniers après qu'ils aient subi  $k$  chocs.

### III.4) $\{N(t)\}$ Processus Quelconque et $\bar{P}_k$ Quelconque :

Soit  $N(t)$  le nombre de chocs dans  $[0, t]$ ,

Soit  $a_k(t) = P[N(t) = k]$  et la durée de vie

moyenne  $A_k(x) = \int_x^{\infty} a_k(t) dt$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$ ,

Soit  $\bar{P}_k = P\{\text{l'équipement survit à } k \text{ chocs}\}$ .

Alors, la probabilité de survie de l'équipement jusqu'à l'instant  $t$  est donnée par :

$$\bar{H}(t) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k(t) \cdot \bar{P}_k \quad (3.18)$$

où :

l'équipement représente le disjoncteur.

Si  $\forall k, x$ , les deux relations suivantes ont lieu, à savoir :

$$(i) \bar{P}_k \cdot \sum_{j=0}^{\infty} \bar{P}_j \cdot A_j(x) \geq (\leq) \sum_{j=k}^{\infty} \bar{P}_j \cdot A_j(x)$$

$$(ii) A_k(x) \sum_{j=0}^{\infty} a_j(t) \geq (\leq) A_k(x+t)$$

Alors  $H \in \text{NBUC}$ , New Better than Used in Convex ( resp.  $\text{NWUC}$ , New Worse than Used in Convex).

où :

$\bar{P}_k$ , la probabilité de survie du disjoncteur à  $k$  chocs ;

$\bar{P}_j$ , la probabilité de survie du disjoncteur à  $j$  chocs à partir de  $k$  chocs ;

$A_k(x)$ , la durée de vie résiduelle à l'instant  $x$  et après  $k$  chocs ;

$A_j(x)$ , la durée de vie résiduelle à l'instant  $x$  à  $j$  chocs à partir de  $k$  chocs ;

$A_k(x+t)$ , la durée de vie résiduelle à l'instant  $x+t$  après  $k$  chocs.

Pour  $\{N(t)\}$  processus Poissonien, si  $\bar{P}_k \in \text{NBUE} \Rightarrow H \in \text{NBUC}$ .

Dans ce cas, il s'agit de comparer les durées de vie moyennes résiduelles, à partir du temps  $x$ , l'instant à partir duquel se produit le choc  $k$ .

## Conclusion :

Lors de l'analyse de fiabilité des réseaux électriques, on est souvent appelé à considérer certaines hypothèses simplificatrices afin d'établir des modèles analytiques de fiabilité basés sur des distributions paramétriques ( processus poissonien, distribution exponentielle, etc). Cependant dans certains cas, les résultats obtenus sont trop éloignés de la réalité

Dans ce travail, on a introduit les lois non paramétriques et on a appliqué les Modèles de choes pour déterminer les probabilités de survie des équipements. Ceci a permis d'établir des critères de comparaisons (durée de vie moyenne et durée de vie moyenne résiduelle) des équipements nécessaires lors des décisions d'exploitation des réseaux. La validation des modèles et l'application pratique (voir des essais et des mesures d'usures) font l'objet d'une étude en cours. Par ailleurs, il est également possible de modéliser les décharges dans les diélectriques et les effets des surtensions comparativement à ceux des courts-circuits.

## Références :

- [1] Aissani Amar, *Distributions non paramétriques de fiabilité : Classification et application*, In Actes de la Journée d'Études M.F.S.I.'2 (*Modèles de fiabilité et Sciences de l'Ingénieur*), Bordj-el-Bahri, 15 juin 1997.
- [2] Barlow R.E et Proschan F., *Statistical theory of Reliability and Life Testing ; Probability Models*, Holt, Rinehart and Winston, Inc, USA, 1975.
- [3] Cao J. et Wang Y. , *The NBUC and NWUC classes of life distributions*, J, applied Probability , Vol .28, pp 473 – 479, 1991.
- [4] Lambert Pierrat, *Electromechanical equipment reliability : The value of poissonian failure models*, XXII-èmes Journées de Statistiques, Tours, 28 Mai – 1<sup>er</sup> Juin 1990.
- [5] Turan Cönen, *Electric power transmission system engineering : Analysis and design*, John Wiley , Canada ,1988.



## CHAPITRE IV :

### **MODELISATION DES RESEAUX ELECTRIQUES DU POINT DE VUE FIABILITE**

IV.1. – Méthode Markovienne pour l'analyse de fiabilité d'un réseau électrique urbain . . .	55
IV.2. – Méthode de Monte Carlo pour l'analyse de fiabilité d'un réseau électrique urbain .	62
IV.3. – Application of non parametric reliability distributions and tests for analyzing Mv energy distribution network's failures: case of Niamey's 20 Mv network . . . . .	69

### **REFERENCES**

- [1] Bourdjioua F., Mansouri S., Aïssani D., Birouche M., *Annales Maghrébines de l'Ingénieur*, Numéro hors série, Vol. I, 1991, pp. 53 - 59.
- [2] Bouzidi A., Mouhoubi S., Aïssani D., Birouche M., *Proceedings of Premières Journées Marocaines sur les Mathématique Appliquées*, Rabat, 1992.
- [3] Aïssani D., Adjabi S., Ibrahim M. S. and Ousman B., *Application of non parametric reliability distributions and tests for analyzing MV energy distribution network's failures: case of Niamey's 20 Mv network*, In the Book *Mathematical Methods in Reliability*, Proceedings of the Third International Conference *MMR'02*, Trondheim (Norway), June 2002, pp. 15 - 18.

## APPLICATION DE LA METHODE MARKOVIENNE POUR L'ANALYSE DE LA FIABILITE D'UN RESEAU ELECTRIQUE URBAIN

F. BOURDJIOUA, S. MANSOURI, D. AISSANI, M. BIROUCHE  
Laboratoire de modélisation et d'optimisation des systèmes  
Université de Béjaïa (Algérie)

**RESUME:** L'objet de cette communication est d'analyser la fiabilité d'un réseau électrique urbain en se basant sur le réseau MT de la ville de Béjaïa. Il s'agit en particulier de montrer que les indices de fiabilité du réseau peuvent être calculés par application de la méthode Markovienne, puis de proposer des actions en vue d'une amélioration éventuelle.

### 1. INTRODUCTION

La sécurité en énergie électrique est aujourd'hui l'une des préoccupations majeures de tout pays. Cependant les problèmes posés par la planification et l'exploitation des réseaux électriques sont très complexes. (voir [1]).

Le choix d'une configuration de réseau et de son équipement doit prendre en compte aussi bien les conditions techniques que les contraintes économiques [2].

Il devient aujourd'hui important d'adapter l'infrastructure de production de transmission et de distribution de l'énergie électrique aux besoins [1], notamment dans les conditions algériennes (augmentation sans cesse croissant des besoins en énergie électrique 12% par an entre 1972 et 1987, passage à l'autonomie des entreprises et à l'économie de marché) [1].

L'analyse de fiabilité d'un réseau électrique détecte les cas de défaillances entraînant une détérioration de l'état d'exploitation et détermine les mesures à prendre afin de maintenir le réseau dans un état normal.

### 2. PRESENTATION DU RESEAU MT DE BEJAIA (fig1)

Le réseau sur lequel porte cette étude est constitué de deux artères principales (ville1 et ville2) alimentées par deux départs C6 et C7. Quand un défaut survient sur l'une des artères, le disjoncteur de protection se déclenche et toute l'artère (où survient le défaut) est mise hors service. On procède alors à la recherche du tronçon en défaut (qu'on isolera après sa localisation), puis on effectue le basculement. On passe ensuite à la localisation du défaut sur le tronçon isolé et on procède à la réparation.

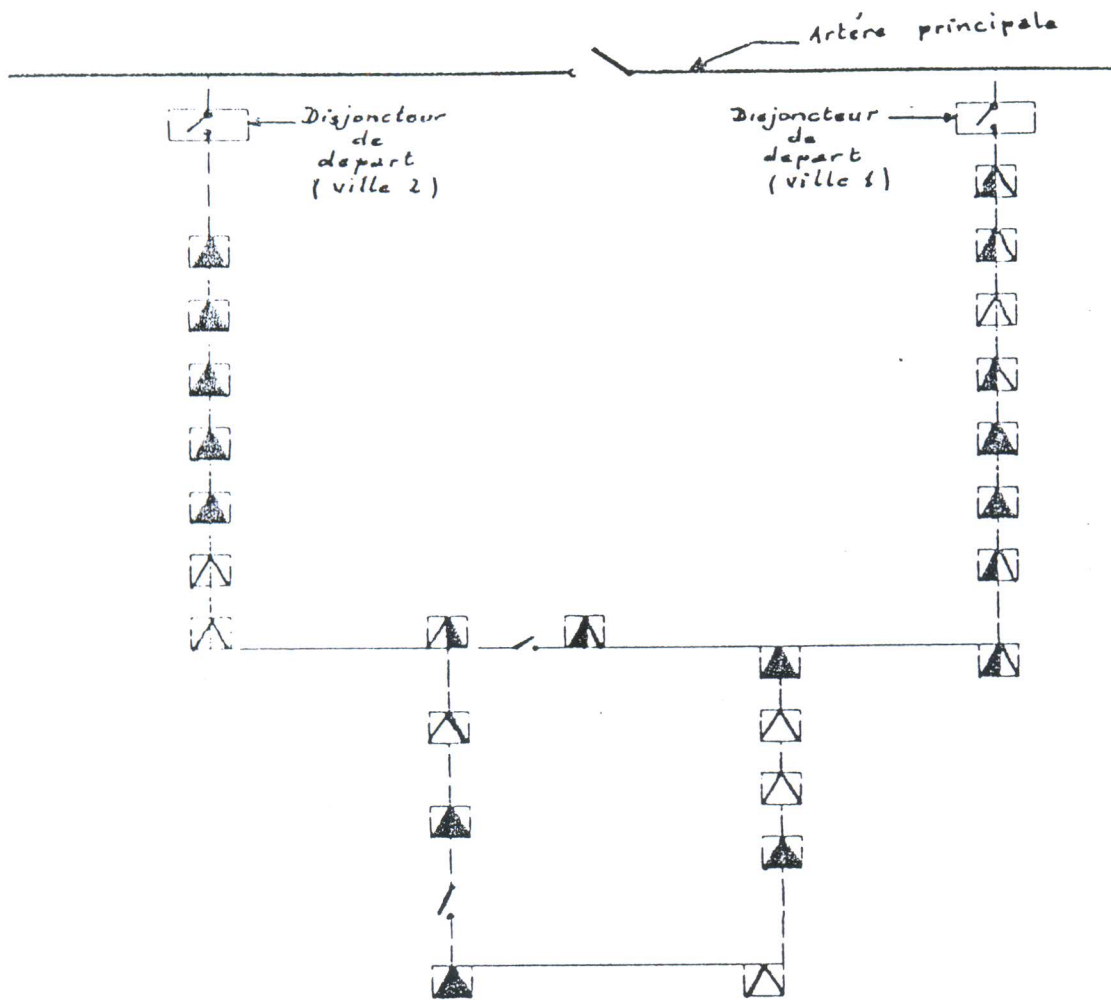


Schéma du réseau MT de Béjaïa  
(fig 1)

### 3. ETATS DU SYSTEME ET MODELISATION

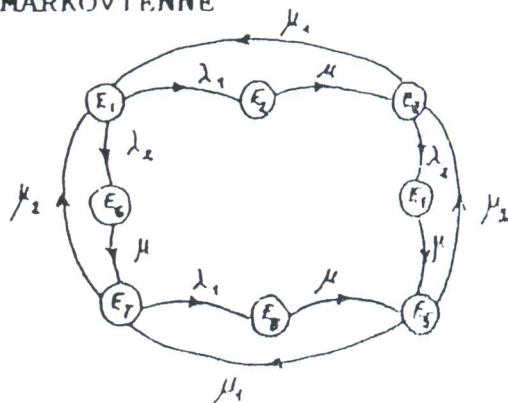
Il s'agit d'un modèle à deux départs en parallèle avec possibilité de basculement. On définit pour le système complet les huit états suivants (voir tableau page suivante).

Soient  $\lambda_i$  ( respectivement  $\mu_i$  ) le taux de défaillance ( respectivement de réparation ) de la ville  $i$  et  $\mathcal{A}$  le taux de basculement. Les valeurs numériques de ces paramètres ont été calculées sur la base des données enregistrées par SONELGAZ sur une durée de trois années (voir notamment [6]).

Etat	Ville	Défaut	Disjoncteur	Boucle
E1	1 2	néant néant	fermé fermé	
E2	1 2	1 défaut néant	ouvert fermé	
E3	1 2	1 défaut néant	fermé fermé	
E4	1 2	1 défaut 1 défaut	fermé ouvert	
E5	1 2	1 défaut 1 défaut	fermé fermé	
E6	1 2	néant 1 défaut	fermé ouvert	
E7	1 2	néant 1 défaut	fermé fermé	
E8	1 2	1 défaut 1 défaut	ouvert fermé	

#### 4. APPLICATION DE LA METHODE MARKOVIENNE

Graphe des états



Les états de non fonctionnement sont E2, E4, E5, E6 et E8.

La méthode markovienne s'applique bien à l'analyse de fiabilité d'un tel système. En effet :

- Le nombre des états est discret.
- Le passage d'un état à un autre peut avoir lieu à tout instant.
- La probabilité d'occupation d'un état ne dépend que de l'état présent.

Les probabilités d'occupation des états sont données par la solution de l'équation différentielle suivante:

$$P_i'(t) = -P_i(t) \sum_{j \neq i} \beta_{ij} + \sum_{j \neq i} P_j(t) \beta_{ji} \quad [4]$$

Où n représente le nombre d'états.

$P_i(t)$ : Probabilité pour que le système occupe l'état i à l'instant t.

$\int_{i,j}(t) \cdot dt$ : Probabilité de transition de l'état i à l'état j

$\beta_{ij}(t)$ : Taux de transition de l'état i à l'état j.

Le système est donc décrit par huit équations différentielles pouvant être mises sous la forme matricielle.

$$P_i'(t) = M t \cdot P_i(t) \quad i = 1, \dots, 8$$

$$M t = \begin{bmatrix} -(\lambda_1 + \lambda_2) & 0 & \mu_1 & 0 & 0 & 0 & \mu_2 & 0 \\ \lambda_1 & -\mu & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu & -(\lambda_2 + \mu_1) & 0 & \mu_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_2 & -\mu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & -(\mu_1 + \mu_2) & 0 & 0 & \mu \\ \lambda_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_1 & \mu & -(\lambda_1 + \lambda_2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_1 & -\mu \end{bmatrix}$$

Mt est la matrice de transition

## 5. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

### a) Probabilités stationnaires des états

Les solutions du système  $P_i(t) \cdot M t = 0$  sont les probabilités stationnaires des états.

Etat i	Probabilité stationnaire	Réseau
E1	0.71016615	en service
E2	5.13239.10E-4	hors service
E3	5.63354.10E-2	en service
E4	6.86789.10E-5	hors service
E5	0.170439	hors service
E6	8.09766.10E-6	hors service
E7	0.214891235	en service
E8	1.55273.10E-5	hors service

**b) Indisponibilité  $\bar{D}$  du système**

L'indisponibilité du système est la somme des probabilités d'occupation des états de non fonctionnement.

$$\begin{aligned}\bar{D} &= P2+P4+P5+P6+P8 \\ &= 0.018646\end{aligned}$$

**Remarque**

L'indisponibilité  $\bar{D}$  est très proche de P5, nous considérons alors que:

$$P5 = \bar{D}$$

**c) Indisponibilité en fonction du temps**

La variation de l'indisponibilité en fonction du temps (fig2. courbe 1) est donnée par la solution du système:

$$P_i'(t) = M_t.P_i(t)$$

pour  $i = 5$  : par application de la méthode de RUNGE KUTTA

**d) Energie non distribuée**

L'énergie non distribuée peut être évaluée de la manière suivante:

$$E_n = \bar{P} \cdot t_{c\sum} \quad [2.6]$$

où  $E_n$  : énergie non distribuée  
 $t_{c\sum}$  : somme des temps de coupure

$\bar{P}$  : la puissance moyenne coupée

$$t_c = \bar{D} \cdot n \quad n = 355 \text{ jours}$$

$$\bar{P} = \sum P_i \quad P_i : \text{puissance par poste}$$

On trouve finalement  $E_n = 570021 \text{ kWh/année}$

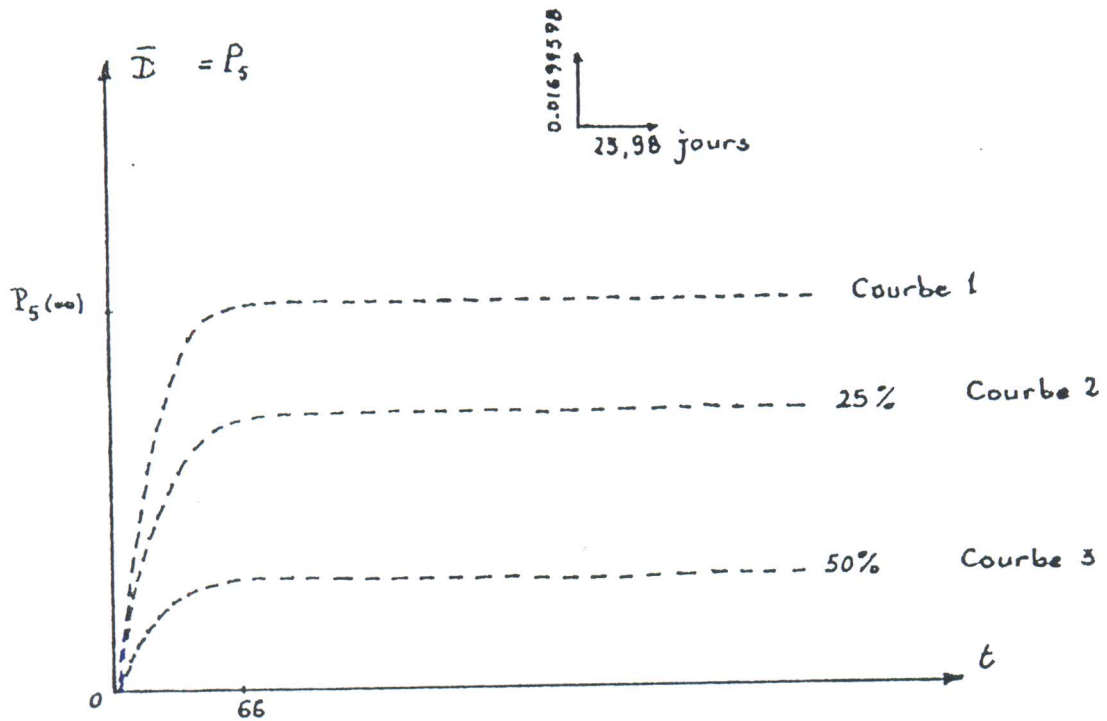
e) Action en vue d'une amélioration de la fiabilité

Les résultats précédents montrent que l'état E5 est critique pour le fonctionnement du réseau.

Comme la durée de résidence dans cette état est égale à  $1/(\mu_1 + \mu_2)$  [4]

alors une augmentation du taux de réparation réduirait d'une part le temps de résidence dans cette état, d'autre part l'indisponibilité et par conséquent l'énergie non distribuée En.

Pour cela nous avons observé l'évolution de l'indisponibilité pour les temps de réparation réduits de 25% puis de 50% (fig2, courbes 2 et 3)



(fig2)

5. CONCLUSION

L'intervention rapide des services de maintenance constitue une action nécessaire pour l'amélioration de la fiabilité d'un réseau souterrain.

Les actions concrètes suggérées ci-après doivent être justifiées par une étude technico-économique faisant intervenir le coût d'investissement, le coût d'exploitation et le coût d'indisponibilité (voir [2]).

- Utilisation des indicateurs de défauts (témoins).
- Isolation semi-automatique des tronçons en défaut.
- Utilisation d'un basculement semi-automatique.

## REFERENCES

- [1] Aissani D. et collaborateurs. Maintenance d'un réseau électrique urbain, accepté au salon international de la maintenance, Alger - Pins - Maritimes, 1991.
- [2] Hamache F., Avadi L., Aissani D., Haim K.D., Analyse de fiabilité en vue d'un renforcement du poste 60/30kv Sonelgaz de Béjaia. Proceeding du 1<sup>o</sup> colloque international sur l'électrotechnique et de l'automatique, Alger (Aurassi), 1990. I.I6.
- [3] Bourdjioua F., Mansouri S., Aissani D., Birouche., Analyse de fiabilité d'un réseau électrique urbain. Actes du séminaire Algéro-Français d'application des mathématiques et de l'informatique - Blida, Mai 1991.
- [4] Dinkar M., Pierre B., Neff M., Aspects modernes de la fiabilité. Les presses de l'université de Montréal, Montréal, 1974.
- [5] Billinton R., Power system reliability evaluation, Gardon and Breach, Sciences publishers, New York, 1970.
- [6] Mansouri S., Bourdjioua F., Projet de fin d'études, Béjaia, 1990.



# SUR L'APPLICATION DE LA METHODE DE MONTE-CARLO POUR L'ANALYSE DE FIABILITE D'UN RESEAU ELECTRIQUE URBAIN

A. BOUZIDI, S. MOUHOUBI <sup>(1)</sup>, D. AISSANI <sup>(2)</sup>, M. BIROUCHE <sup>(3)</sup>

L.A.M.O.S

Laboratoire de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes  
Université de Béjaïa (Algerie)

**Résumé:** Dans cette communication, nous présentons une autre méthodologie (basée sur la simulation par Monte Carlo) d'évaluation des différents aspects de fiabilité d'un réseau électrique urbain.

Les performances et contraintes d'une telle analyse (par rapport à l'application de la méthode Markovienne [1]) sont étudiées en interprétant les résultats obtenus sur le réseau MT de la ville de Béjaïa.

## 1. Introduction:

Les problèmes posés par la planification et l'exploitation des réseaux électriques sont très complexes (voir [3],[4]). Le choix d'une configuration de réseau et son équipement doit prendre en compte aussi bien les conditions techniques que les contraintes économiques [2].

C'est pourquoi une analyse de fiabilité devient indispensable. Elle détecte les cas de défaillances entraînant une détérioration de l'état d'exploitation et détermine les mesures à prendre afin de maintenir le réseau dans un état normal.

Précisons que la partie protection a été traitée dans [4] et que l'application d'une méthode analytique (Markovienne) pour l'obtention des indices de fiabilité du réseau urbain a été réalisée dans [1].

Ce travail fait partie d'un protocole spécifique en voie de finalisation entre le L.A.M.O.S-Béjaïa et la direction de la distribution SONELGAZ-Alger.

## 2. Présentation du réseau MT de Béjaïa ( Fig -1- ):

Le réseau sur lequel porte cette étude est un réseau de distribution MT urbain bouclé et alimenté à partir du poste de transformation 60/30 Kv de Béjaïa ( voir [2] ).

Il est constitué de deux départs Ville 2 et Ville 3 et est entièrement réalisé en souterrain. Il comporte 27 postes MT/BT, dont 14 postes de distribution publique, 7 postes de livraison et 6 postes mixtes. Ces postes sont raccordés en coupure d'artère.

---

(\*) Actuellement

(1) Ingénieur à L' E.N.M.T.P Béjaïa

(2) Professeur invité au laboratoire A.M.S,URA C.N.R.S,ROUEN (France)

(3) Assistant à l'université de Constantine.

A l'état de fonctionnement normal, les deux départs sont séparés par l'intermédiaire d'un interrupteur. Lorsque un départ tombe en panne, l'interrupteur se ferme et l'alimentation du départ défaillant se fera à partir du départ voisin.

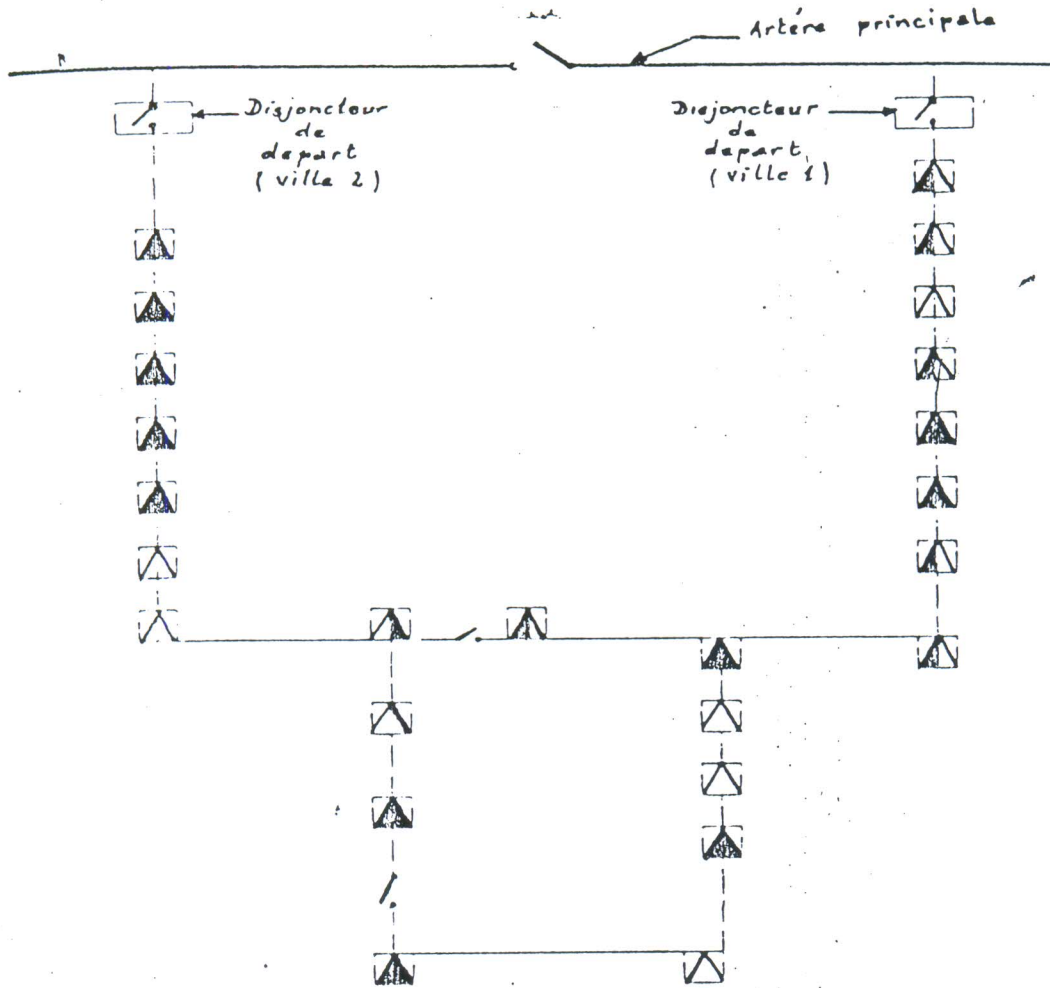


Schéma du réseau MT de Réjaia  
(fig 1)

### 3. Principe de la méthode de résolution

Elle est basée sur l'application de la méthode de Monte Carlo. Il s'agit de simuler les défaillances du réseau de distribution MT, afin d'évaluer les différents indices de fiabilité.

La simulation est réalisée sur un simulateur numérique (Siemens) en turbo pascal version 5.5 1990 Borland International.

#### a) Structure des données:

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

-Données SONEGAZ: représentées par les temps de bon fonctionnement

TRSR(1) est le temps de remise en service TRSR(i) de défaut qui sont classés sur quatre années 87-90.

Elles sont évaluées d'après les manoeuvres effectuées par le personnel de SONEGAS et sont sauvegardées dans deux fichiers (TBF, TRS).

-Données internationales; représentées par: (voir [6])

\* Le taux de défaillance de chaque élément du réseau (câble, boîte de jonction (B.J), intersect, sectionneur et disjoncteur).

\* Les données techniques du réseau à savoir: La longueur du câble  $L_c$ , le nombre de B.J  $N_b$ , de sectionneurs  $N_s$ , d'intersects  $N_i$  et de disjoncteur  $N_d$ .

\* Le temps de remise en service a été estimé d'après les données SONEGAS

$$TRSR = \sum_{i=1}^{27} TRSR(i)/27, \quad (1)$$

où 27 représente le nombre de défauts enregistrés.

b) Les indices de fiabilité:

Le programme de simulation nous donne les résultats suivants:

- La moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBFR).

$$MTBFR = Neta_1 \cdot \Gamma(1+1/\beta_1),$$

où  $\Gamma(1+1/\beta)$ : est tiré de la table de la loi Gamma

- La moyenne des temps de remise en service (MTRSR).

$$MTRSR = Neta_2 \cdot \Gamma(1+1/\beta_2)$$

où  $Neta_1$  (respectivement  $\beta_1$ ) représente le paramètre d'échelle (resp. le paramètre de forme) des TBF (pour  $i=1$ ) et des TRSR (pour  $i=2$ ) du réseau.

- Le taux de défaillance  $K_1$ .

$$K_1 = 1/MTBFR$$

- Le taux de remise en service  $V_1$ .

$$V_1 = 1/MTRSR$$

- L'indisponibilité du réseau  $D_1$ .

$$D_1 = K_1 / (K_1 + V_1)$$

- Le temps de coupure  $T_c$ .

$$T_c = D_1 \cdot 8760$$

- L'énergie non distribuée  $E_n$ .

$$E_n = P \cdot T_c \quad \text{où } P \text{ est la puissance moyenne du réseau.}$$

- La fonction fiabilité  $R(t)$ .

c) Application de la méthode de Monte Carlo

Pour chaque élément du réseau, on génère une v.a  $U_i$  comprise entre 0 et 1 par la méthode congruentielle multiplicative.

$$x(i) = U(i) / m$$

$$U(i+1) = A.U(i) \text{ mod } (m)$$

$m = 2^{20}$  : terme de la congruence

$A = 1443$  : facteur multiplicatif

$U(0) = A$  : racine du générateur

On détermine ensuite Le temps de bon fonctionnement  $TBF(i)$  correspondant à l'élément  $i$  (câble, B.J, sectionneur, intersect, disjoncteur), par la loi de distribution exponentielle.

$$TBF_i = (1/K_i) \cdot \ln(1/1-U_i)$$

La connaissance de la structure du réseau (les relations entre les divers éléments), nous permet d'évaluer le temps de bon fonctionnement ( $TBF_r$ ) et le temps de remise en service ( $TRS_r$ ) correspondant à l'élément tombé en défaut.

Ces v.a sont ajustées séparément par la loi de distribution de WEIBULL définie par sa fonction de répartition :

$$F(t) = 1 - \exp(-t/Neta)^\beta$$

Les paramètres  $\beta$  et  $Neta$  caractérisant cette loi seront estimés par la méthode du Maximum de vraisemblance.

Enfin un test d'adéquation : Le test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est appliqué pour vérifier la validité de l'ajustement.

#### 4. Description du programme de simulation

IL est constitué de 8 procédures:

-La procédure INTDONNEES est appelée pour lire les données internationales et le nombre de séquences  $N_c$  dont dépend la convergence de la méthode.

ON fait appel à la procédure ALEATOIR pour la génération des nombres aléatoires compris entre 0 et 1. Pour chaque nombre aléatoire généré, on calcule les  $TBF(i)$ .

-La procédure MINIMUM est appelée pour déterminer le minimum des  $TBF(i)$  qui représente le temps de bon fonctionnement du réseau.

-Le temps de remise en service ( $TRS_r$ ) correspondant est obtenu à partir de la procédure ALEATOIR et la loi de distribution exponentielle. La génération des  $TBF_r$  et  $TRS_r$  est répétée  $N_c$  fois.

Pour les temps de bon fonctionnement  $TBF_r$ , on appelle :

-La procédure PARAM pour estimer les paramètres de la loi de Weibull  $\beta$  et  $Neta$  par la méthode du maximum de vraisemblance.

-La procédure PERMUT pour ordonner les  $TBF_r$  en ordre croissant.

-La procédure SMIRNOV pour vérifier la validité de l'ajustement.

-La procédure MTBFTR pour estimer la moyenne des temps de bon fonctionnement ( $MTBF_r$ ), ainsi que leurs écart-types.

Le même procédé est utilisé pour le temps de remise en service ( $TRS_r$ ).

Enfin, pour l'étude comparative on fait appel à la procédure DONNEES, dans laquelle on introduit les données SONEGAZ.

graphique des différents indices de fiabilité (voir fig 2 - 6).

## 5. Interprétation des résultats (obtenus sur le réseau de Béjaïa).

### 5-1. Paramètre de forme:

On constate que l'ajustement des TBFr, respectivement TRSr, (en utilisant les données internationales) selon La loi de Weibull est positif (donc le test de Kolmogorov-Smirnov est vérifié). Il nous donne les valeurs du paramètre de forme ( $\beta_1 = 1.043$ ,  $\beta_2 = 0.900$ ) qui sont proche de 1, ce qui veut dire que les résultats de la simulation correspondent à la réalité. Cela s'explique par le fait que notre système est constitué du point de vue fiabilité d'éléments en série, dont chacun suit une loi exponentielle.

Pour les données SONELGAZ, l'ajustement des TBFr selon la loi de Weibull est positif. Par contre, pour les temps de remise en service du réseau il est négatif. La non validité de l'ajustement est dû à priori au manque de données (taille réduite de l'échantillon).

Le programme nous donne les paramètres de la loi de distribution.  
 $\beta_1 = 1.079$ ,  $\beta_2 = 1.681$

### 5-2. Moyenne des temps de bon fonctionnement et de remise en service:

Pour les données internationales, la moyenne des temps de bon fonctionnement MTBFr (avec intervalle de confiance) est:

$$MTBFr = 3253.07 \pm 273.64 \text{ (heures)}$$

De même, la moyenne des temps de remise en service MTRSr évaluée avec intervalle de confiance

$$MTRSr = 0.514 \pm 0.050 \text{ (heures)}$$

Pour les données SONELGAZ, on a obtenu :

$$MTBFr = 1188.45 \pm 416.12 \text{ (heures)}$$

$$MTRSr = 0.580 \pm 0.135 \text{ (heures)}$$

La MTBFr obtenue par les données internationales est trois fois plus grande que celle obtenue avec les données SONELGAZ. Cet écart est dû essentiellement aux facteurs suivants:

-Les modes et techniques de pose de câbles qui ne s'effectuent pas selon les normes.

-Jonction et réparation des câbles: Cette opération nécessite des moyens humains (personnel qualifié) et matériels performants.

-Les atteintes tiers lors des travaux.

Par contre, pour la MTRSr, on constate que la différence des résultats (entre les données internationales et SONELGAZ) est faible; Cela est dû au fait que le temps moyen de remise en service du réseau ne figure pas sur le tableau des données internationales. Ce paramètre est estimé à partir des données SONELGAZ par la formule (1).

### 5-3. Temps de coupure annuel, Energie non distribuée:

On remarque que le temps de coupure ( $T_c$ ) et l'énergie non distribuée ( $E_n$ ) déterminés avec les données internationales sont diminués de 60% par rapport à celle de SONELGAZ. Cela est dû aux différents facteurs cités précédemment.

-Données internationales:  $T_c = 1.384 \pm 0.147$  (heures)  
 $E_n = 9884.528$  (Kwh)

-Données SONELGAZ:  $T_c = 4.325 \pm 1.537$  (heures)  
 $En = 30892.089$  (Kwh)

Remarque1: L'énergie non distribuée est évaluée en connaissant le nombre de postes restants dans le noir pendant la durée de non fonctionnement du réseau.

Remarque2: Le temps de basculement utilisé pour la méthode Markovienne ne représente pas réellement un temps de remise en service. Cela a été vérifié en consultant les fichiers au niveau de SONELGAZ où sont enregistrées toutes les manoeuvres effectuées lors de chaque défaut. Les résultats de l'étude comparative sont exposés dans [5].

## 6. Conclusion

Les courbes de fiabilité obtenues avec les données internationales et SONELGAZ montrent l'importance de l'amélioration du taux de défaillance du système (donc des éléments le constituant) pour améliorer la fiabilité du réseau (fig. 2-6).

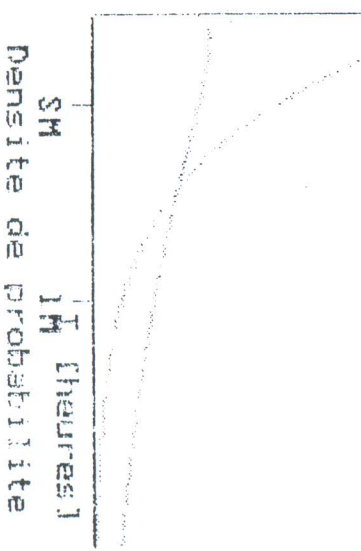
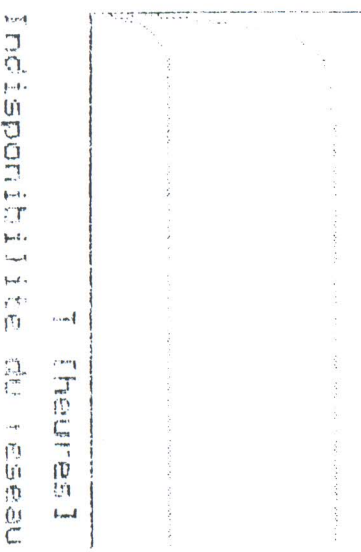
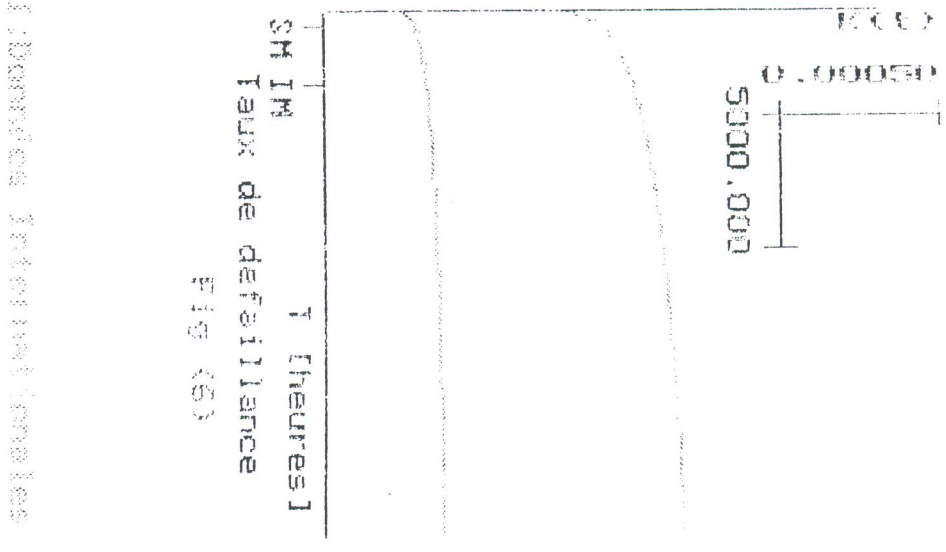
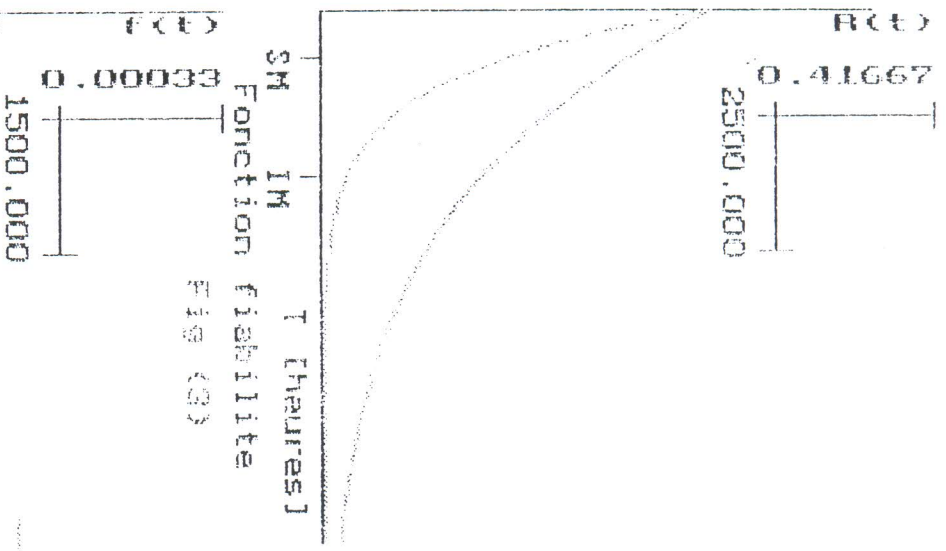
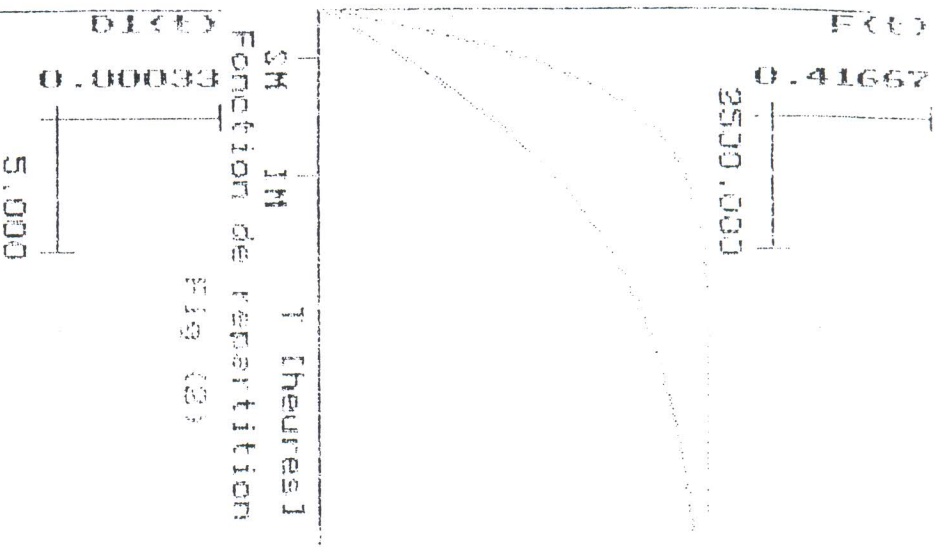
Les courbes d'indisponibilité (fig. 4), ainsi que l'évaluation de l'énergie annuelle non distribuée montrent que quand le temps moyen de remise en service du réseau diminue, l'énergie non distribuée ainsi que le temps de coupure pendant une année diminuent.

Dans [4] une série de mesures sont proposées. Néanmoins la décision d'investissement et son caractère optimal ne peuvent s'analyser sans tenir compte des conséquences de cette décision à la fois sur les frais d'exploitation résultants et sur la gêne économique au niveau de l'utilisateur du réseau (voir dans [2]).

C'est pourquoi elle doit être justifiée par une étude technico-économique (qui consiste à trouver un compromis coût-fiabilité).

## REFERENCES

- [1] AISSANI D., BOURDJIOUA F., MANSOURI S., BIROUCHE M., Application de la méthode Markovienne pour l'analyse de fiabilité d'un réseau électrique urbain. Les Annales Maghrebines de l'Ingénieur, numéro hors série (actes du colloque C.M.M.N.I.3), Tunis 1991, Vol 1, pp. 53-59.
- [2] AYADI.L, HAMMACHE.F, AISSANI.D, HAIM.K-D, Analyse de fiabilité en vue du renforcement du poste 60/30 Kv de Béjaïa, proceeding du premier colloque international sur l'électrotechnique et l'automatique, Alger (Aurassi), 1990, 1.16.
- [3] LIGERON D. and all, La fiabilité en exploitation, Lavoisier, Paris 1984.
- [4] AISSANI D. et collaborateurs, Maintenance d'un réseau électrique urbain. Actes du 1er salon international de la maintenance, Palais des expositions, pins Maritimes, 1991.
- [5] MOUHOUBI S., BOUZIDI A., projet de fin d'étude, Institut d'électrotechnique, Béjaïa, 1991.
- [6] BOCHANKY L., planung öffentlicher elektroenergie verteilungs netze, verlag fur grundst of industrie leipzig, 1985.



----- Données Interne données  
----- Données Substituées  
SM: SMIBFR = 1198.444  
IM: INTMIBFR = 3350.609

## **Application of non parametric reliability distributions and tests for analyzing MV energy distribution network's failures : case of Niamey's 20 Mv network**

Djamil Aïssani, Smaïl Adjabi, Mamane Souley Ibrahim and Bagnan Ousman

Laboratory *LAMOS*

Laboratory of Modelisation and Optimization of Systems

University of Béjaia, 06000, Algeria

[lamos\\_bajaia@hotmail.com](mailto:lamos_bajaia@hotmail.com)

### **Abstract**

In this communication, we applied non parametric reliability distributions and tests in order to evaluate the "age" of energy distribution network's departures. These departures are affected by different kind of failures. Here, we restricted the study by analysing the failures which occasioned important indisponibility time to the damaged departures. On other hands, we developped the software "FiaElectricité" specially adapted to the specificity of collected datas. An application on analysis of different departures of Niamey's 20 Mv energy distribution network is realized.

An appropriate maintenance strategy, based on "theory of equipement renovation", is proposed. The ABC analysis allowed us to select the equipement with significant contribution in decreasing departures' availability. The determination of failures and maintenance costs guided us in the choosing of preventive maintenance strategy. This choice is justified by the obtained results.

### **Introduction**

Nowadays, in the theory of electric and energetic systems' functioning, reliability notions occupied a wide domain and constituted a determinant factor. Particularly, more than 60% of failures collected on these systems appear on energy distribution networks. Therefore, we recommanded reliability analysis for energy distribution network. It detected failures which deteriorated the system and determined the measures to take in view to improve the system's functioning.

This present work is included in FSE<sub>2</sub>'s aim (reliability of electric and energetic system). This aim consist to have care for studies about reliability of energy networks in specified conditions (lack of datas, ...).

### **1. Niamey's 20 Mv distribution network**

This system extracts energy through two posts. We named: Niamey III repartition's post and Goudel 66/ 20 Mv post of transformation. The network is consituted to 16 departures. Among them 7 are underground. Equipements are found on the departures with different functions:

- protection and isolation components ( circuit - breakers,...)
- measure and command components
- power components (power's transforming)

The departures are affected by different kind of failures. Here, we restricted the study by analyzing permanent failures . There occasioned important indisponibility time to the damaged departures.

### **2. Statistics tests for non parametric reliability distribution:**

Generally, it's not easy to detect the adequate distribution on the base of statistic datas: many distributions can be proposed to the same equipement . So, it's preferable to characterize life distribution by a qualitative property which express the "age" of the equipement (Aïssani and Saidi, 1997). This reason explained why we used the non parametric reliability distributions and tests.

A usual format for testing is:

$$H_0: \langle \bar{F} = \exp(-\alpha x) \rangle \text{ against } H_1: \langle F \in C, \text{ not exponential } \rangle,$$

Here, C is a class of non parametric distribution. It exists various statistic tests for the same class of non parametric distribution. In this case, we used the test Tn of Kochar and Dn of Koul. Their statistics are given respectively by (Kochar 1985, Koul 1977)



$$T_n = \frac{\tilde{T}_n}{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^n J\left(\frac{i}{n+1}\right) X_{(i)}}{n\bar{X}}$$

where  $J(u) = 2(1-u)[1-\log(1-u)]-1$  and  $\bar{X}$  is the sample mean of  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . The  $T_n$  test reject  $H_0$  in favour of  $H_1$  for large values of  $T_n$ . The critical values are given in (Kocher 1985)

$$D_n = \frac{1}{n^2} \min_{1 \leq i \leq j \leq n} [nS_{ij} - (n-i)(n-j)] = \frac{1}{n^2} \min_{1 \leq i \leq j \leq n} T_{ij}$$

with  $S_{ij} = \sum_{k=1}^n I(X_{(k)} > X_{(i)} + X_{(j)})$  and  $T_{ij} = [nS_{ij} - (n-i)(n-j)]$  pour  $1 \leq i \leq j \leq n$ .

This test reject  $H_0$  for small values of  $n^2 D_n$ . The critical values of  $D_n$  test are given in (Koul 1997).

### 3. Application of statistic tests for non parametric distribution on Niamey's 20 Mv network

We have to note that for computations, we appeal to the software named "FiaElectricité". We'll present it in the following pages.

#### 3.1 Modelisation

In view to simplify the model, we codify the different departures. Among the 16 departures, we considered only 13 for the study. Quite so, Koubya and Medina are departures which are created recently.

We assimilated  $X_i$ , the random variable denoting the lifetime of equipement  $i$  in reliability theory, to "the number of permanent failures collected each year on the departure  $i$  ( $i= 1, \dots, 13$ )". The  $X_i$ 's values are given in the table 3.1 (see document of the Nigerien Compagny *Nigelec*).

At each  $X_i$ , we associated a distribution  $F_i$  ( $F_i$  characterized a qualitative property which expressed the "age" of the departure  $i$ ). The fundamental problem consists to determinate the  $F_i$  ( $i = 1, \dots, 13$ ). This reason explained our choice for non parametric tests.

Before determinating the  $F_i$ , we did a previsions study. We considered that the values of each  $X_i$  constituted a chronological series. By applying "exponential lissage" method, we obtained the results of the following table:

Table 3.2 : forecasts' values for 2001's year by departure

	1997	1998	1999	2000	Forecast 2001	Constant of Smoothing ( $\alpha$ )
Departure 1	10	13	15	14	14	0,1
Departure 2	12	12	18	8	12	0,9
Departure 3	8	12	8	4	8	0,9
Departure 4	8	10	6	8	8	0,9
Departure 5	5	1	4	9	5	0,9
Departure 6	2	8	10	7	7	0,1
Departure 7	17	10	6	9	9	0,1
Departure 8	5	21	14	11	12	0,5
Departure 9	3	4	2	3	3	0,9
Departure 10	1	1	0	1	1	0,9
Departure 11	4	3	1	2	2	0,1
Departure 12	1	5	4	4	4	0,2
Departure 13	4	2	6	6	4	0,9

### 3.2 Determination of the $F_i$ ( $i = 1, \dots, 13$ )

#### a) Test $T_n$ of Kochar

This test is consistent, its application on Niamey's network gave the following results:

**Table 3.3 : statistics' values and  $F_i$ 's nature by departure**

Departures	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Val( $T_n$ )	0,543	0,492	0,472	0,530	0,382	0,456	0,455	0,433	0,511	0,463	0,468	0,468	0,479
$F_i$	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp

It resulted to this test that all the  $F_i$  are exponential with a level  $\alpha = 0.05$ . In referring to the classification of non parametric reliability distributions, we proposed to do a test for NBU's property.

#### b) Test $D_n$ of Koul

We can notify that the critical values for  $n = 4$  exist ( $n$  is the size of the sample), and on the other hand  $D_n$  test is consistent. The applying of  $D_n$  test at 0.05's level gave the results of the following table

**Table 3.4 :  $F_i$  ( $i = 1, \dots, 13$ )'s nature for each departure**

Departures	Nature	Dist $\alpha = 0,05$	Dist $\alpha = 0,10$	Source station
1	Air	$F_1$ is NBU	//	Station of Ny III
2	Air	$F_2$ is Exp	$F_2$ is NBU	//
3	Air	$F_3$ is Exp	$F_3$ is NBU	//
4	Air	$F_4$ is NBU	//	//
5	Air	$F_5$ is Exp	$F_5$ is Exp	Station 66/20KV
6	Air	$F_6$ is Exp	$F_6$ is Exp	//
7	Underground	$F_7$ is Exp	$F_7$ is Exp.	Station of Ny III
8	Underground	$F_8$ is Exp	$F_8$ is Exp	//
9	Underground	$F_9$ is NBU	//	//
10	Underground	$F_{10}$ is Exp	$F_{10}$ is NBU	//
11	Underground	$F_{11}$ is Exp	$F_{11}$ is Exp	Station 66/20KV
12	Underground	$F_{12}$ is Exp	$F_{12}$ is NBU	//
13	Air	$F_{13}$ is Exp	$F_{13}$ is NBU	//

These results expressed that among all the departures, only three (3) presented NBU distributions. There are  $F_1$ ,  $F_4$  and  $F_5$ .

On other hand we would propose to test NBUE alternative, but the small size of the sample didn't allow us. Then, we resumed the  $D_n$  test of Koul with an increasing risk. We considered  $\alpha = 0.10$ . The results obtained are given in the table 3.4.

### 3.3 Interpretation of Results

It derived from the obtained results that only  $F_1$ ,  $F_4$ , and  $F_9$  are NBU's distribution. The other remained exponentials. However, NBU distribution placed in a prominent position the oldness of 1, 4 and 9's departures. Then, we affirmed that those departures are in reliability viewpoint, "old". For  $\alpha = 0.10$ , in addition of 1, 4, 9, the departures 2, 3, 10, 12, and 13 are "old" too.

#### 4. Optimization of different departures equipments maintenance

Here, we considered the departure 9. After the ABC analysis, for each considered equipment, we determined the failure cost  $C_{d9}$  and the maintenance cost (Lyonnet 1993). There are respectively given by the following formulas:

$$\begin{aligned} C_{d9} &= K_w(1 + \theta) P_{c9} T_{c9} \\ C_{p9} &= C_{m9} + C_{m09} \end{aligned}$$

If  $r_9 = \frac{C_{d9}}{C_{p9}} > 1$ , this result justified our choice for a preventive maintenance policy.

At last, for optimizing the time of preventive replacement of equipments, we considered the preventive and corrective maintenance cost:

$$\begin{aligned} G_{c9} &= \frac{C_{p9} + C_{d9}}{MTBF} ; \\ G_9(T) &= \frac{C_{p9} + [1 - \bar{F}_9(T)]C_{d9}}{\int_0^T \bar{F}_9(t) dt} \end{aligned}$$

with  $G_9(T) < G_{c9}$ . The optimal time of replacement is the time which minimizing the cost  $G_9(T)$ . For its evaluation, we had to resolve the following equation:  $\frac{dG_9(t)}{dt} = 0$ . Then, we could confirm the decision relative to the test of Koul.

#### 5. Presentation of "FiaElectricité" software:

This program is developed for previsions computations and determination of different distributions based on statistic datas collected from Niamey's 20 Mv distribution network.

"FiaElectricité" is been conceiving specifically to take into account the datas specificity. It is realized under Delphi 5 environment. "FiaElectricité" is constituted to 3 principal programs:

- computations of prevision. It gave  $\alpha$  (lissage's constant corresponded) which minimize the chosen criteria and the corresponded previsions' values.
- the appurtenance of a distribution to IFRA alternative
- the appurtenance of a distribution to NBU alternative

#### Conclusion

It derived from this application that three departures presented NBU distribution at 0.05's level. This reason allowed us to assert that corresponding departures are "old" in reliability viewpoint: NBU property belongs to the oldness models. In other hand we recommended an applying on a preventive maintenance strategy. For the justification of this decision, we proposed an application which based on the "theory of equipment renovation".

#### References

- Aïssani, A. and Saidi G. (1997). Distributions non Paramétrique de Fiabilité: Classification et Application. *Proceedings of the conference M.F.S.I' (Reliability Models and Engineering Sciences)*, Bordj-el-Bahri, Algeria.
- Kochar, S.C. (1985). Testing Exponentiality Against Monotone Failure Rate Average Departement of Statistic Panjab University. Chandigarh, India. *Communications in statistics theory and Methods*, vol. 14 n°2, pp. 381-392, India.
- Koul, H.L. (1977). Test for New Better than Used. *Communications in Statistics Theory and Methods*, A 6, n°6, pp. 563 - 573.
- Lyonnet, P. (1993). Optimisation d'une Politique de Maintenance, Tec et Doc Ed., pp. 83-94.

## CHAPITRE V :

### ***PLANIFICATION ET EXPLOITATION DES RESEAUX ELECTRIQUES PAR LA FIABILITE***

V.1. – Méthodes de recherche des défauts .....	74
V.2. – Calcul des indices de fiabilité d'un réseau électrique de distribution MT .....	80
V.3. – Exploitation des réseaux électriques de distribution par la fiabilité. ....	86

### ***REFERENCES***

- [1] Medjoudj R., Aïssani D. and Haim K.D., *Proceedings of the International Conference ICEEE'94*, Oran, 1994.
- [2] Medjoudj R. et Aïssani D., *Proceedings of the Conférence CMES'94*, Skikda, 1994, pp. 07 - 12.
- [3] Medjoudj R. and Aïssani D., *Exploitation des réseaux électriques de distribution par la fiabilité. Application au réseau 10 Kv de la ville d'Alger*. Proceedings of the Internationale Conference **CIMASI 2000**, Casablanca, October 2000, pp.4.2.2 (support CD).

# Méthodes de Recherche de Défauts et Détermination des Valeurs Caractéristiques de la Fiabilité

Medjoudj R. et Aïssani D.

## LAMOS

Laboratoire de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes  
Université de Béjaïa, 06000

### Résumé :

Dans ce rapport nous montrons comment exploiter le logiciel ZV élaboré par Monsieur K. D. HAIM pour la recherche de défauts et le calcul des valeurs caractéristiques de fiabilité d'un réseau électrique de distribution. L'application a été faite sur des départs du réseau 10KV de la ville d'alger.

### Introduction :

Le réseau 10 KV de la ville d'Alger se présente comme un système regroupant plusieurs postes de transformation 60KV/10KV auxquels sont connectés plusieurs départs pour l'alimentation des consommateurs en basse tension.

Nous avons réduit l'étude au poste 60KV/10KV. AMIRAUTE (N° 594) avec onze (11) départs. Les éléments (postes - câbles ) sont en série.

L'objectif de ce rapport est présenter :

- La méthode de recherche de défauts.
- La détermination des valeurs caractéristiques de la fiabilité pour certaines variantes.

On prend un départ quelconque (Picardie 2) et on réalise une étude détaillée. Au fur et à mesure de la présentation des résultats, nous expliquerons les différentes phases de calcul effectué à l'aide d'un logiciel "ZV" (installé par M<sup>r</sup> K. D. HAIM ), réalisé en Turbo Pascal 6.0 Version 1.0.1991.

### I- Algorithme et résultats :

Les valeurs caractéristiques de la fiabilité correspondent à la:

- Fréquence annuelle de coupures .....Défauts/année.
- Energie Annuelle non distribuée..... KWh/année.
- Durée annuelle de coupure (Départ)..... Min/année.
- Durée annuelle moyenne de coupure (Poste)..... Min/année.
- Durée moyenne de coupure par défaut.....Min/Vu.
- Dispersion du temps de coupure (défaut)..... Min/Vu.

NB : Dans ce qui va suivre, le poste sera considéré comme nœud .

### **I-1-Introduction des données :**

#### **a) Données des nœuds: (Knotenpunktdaten) . (1)**

- Numéro du nœud (knoten).
- Le temps d'action pour aller au nœud
- La puissance appelée au nœud (S(KVA))
- Le taux de défaillance du nœud, h (1/a)
- La priorité du nœud ( 1 ou 0 )
  - 1- Si on tient compte de la défaillance du nœud
  - 0- Si non.

h est calculé comme suit :  $h = \lambda_{\text{nœud}} = \frac{N^{\text{bre}} \text{ défauts (nœud)}}{N^{\text{bre}} \text{ d'année} \times N^{\text{bre}} \text{ de nœuds}} = 0.01 \text{ (1/a)}$

#### **b) Données des lignes : (Leistungsdaten) ..(1)**

- Numéros des nœuds de départ et d' arrivée.
- Longueur du tronçon (Km).
- Type de câble.
- Taux de défaillance du câble (  $\lambda_{\text{câble}}$  : 1/a .Km)

$\lambda_{\text{câble}} = \frac{N^{\text{bre}} \text{ défauts câble}}{N^{\text{bre}} \text{ d'années} \times \text{Longueur}} = 0,38 \text{ (1/a .Km)}$  : d'après les données SONELGAZ

#### **c) Données des temps, vitesse**

- nœud de départ : 594
- Temps de déplacement : 15 min
- Vitesse de déplacement : 30 Km/h
- Constante de temps : 3 min

A l'aide de ces données, on construit le réseau (départ avec les éléments postes-câbles) où on place un disjoncteur en tête de départ au poste source 594 et on calcule la matrice des temps de déplacements entre les différents nœuds avec la possibilité de corriger les temps si désiré.

### **II - Méthodes de recherche de défauts :**

On distingue deux (02) types de recherche de défauts :

- a)- Recherche manuelle.
- b)- Recherche automatique.

#### **Recherche manuelle :**

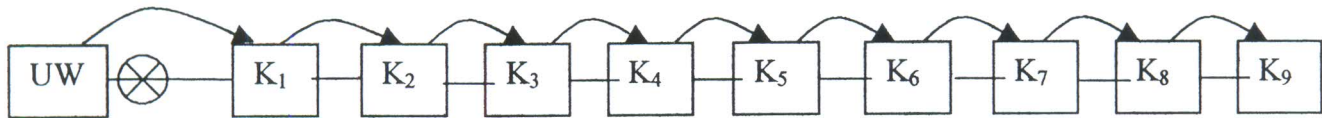
Cette dernière se fait par tâtonnement. On commence généralement au milieu du départ et on fait le poste à poste.

#### **Recherche automatique :**

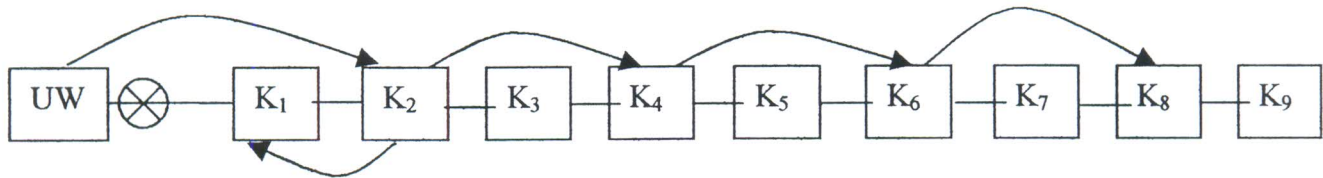
Cette dernière se fait pas à pas jusqu'à détermination de l'endroit de défaut.

On désigne par  $n$  le pas.

Exemple :  $n=1$  on fait le poste à poste à partir du poste source (UW)



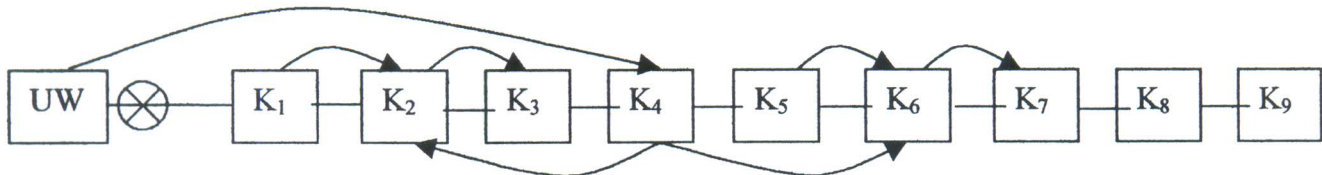
$n=2$ , on fait la recherche tout les deux (02) postes. A partir de UW on va à  $K_2$ , on définit la direction du défaut. Si le défaut est isolé on va à  $K_4$ , sinon on revient à  $K_1$ , ...



Le pas est aussi fonction du nombre de postes et de la longueur du départ. Donc, lors de la recherche, on partitionne le réseau, soit suivant le nombre de postes, soit suivant la longueur du départ.

b-1) : Recherche suivant le nombre de postes :

Exemple : On commence la recherche à partir du poste source UW.  $n = 4$



De UW, on va à  $K_4$  où l'on détermine la direction du défaut. Le défaut est soit à gauche soit à droite de  $K_4$ . (amont - aval).

- S'il est isolé, on va à  $K_6$  et on refait l'opération. Puis on va à  $K_5$  ou à  $K_7$ .
- S'il n'est pas isolé, on revient de  $K_4$  à  $K_2$  et on refait l'opération.

Etant au niveau de  $K_2$ , on va soit à  $K_1$  soit à  $K_3$ , jusqu'à déterminer le tronçon en défaut.

b-2) : Recherche suivant la longueur du départ :

Cette dernière se fait d'une manière analogue à la précédente indépendamment du nombre de postes inclus dans ces longueurs choisies.

Le but de la recherche automatique est la localisation rapide du défaut et par conséquent la limitation du temps de recherche. Elle est utilisée en priorité dans les réseaux MT.

Au fur et a mesure de la recherche de l'endroit de défaut, s'effectue la réalimentation des parties saines du réseau (départ) suivant plusieurs variantes.

b-3) : Réalimentation suivant le nombre de postes :

On réalimente du côté où il y a plusieurs postes, en tenant compte de la priorité (importance) des postes.

b-4) : Réalimentation suivant la puissance de consommation:

On réalimente du côté où il y a la demande la plus importante.

b-5) : Réalimentation du côté poste source :

On isole le défaut et on répare jusqu'à avoir la possibilité de réalimenter du côté poste source.

La meilleure des variantes requises, est celle qui donnera les meilleurs indices de fiabilité.

Dans l'exemple qui suivra, on traite le défaut de câble entre K<sub>1</sub> et UW et on donne la terminologie allemande de certains termes techniques que nous retrouverons lors du traitement d'un défaut dans le départ PICARDIE 2.

LeitungsFehler \*\* : K<sub>1</sub>-UW ; Aktionen\* (\*\*) défaut câble: K<sub>1</sub>-UW(\*) opérations

t <sub>1</sub> (min)	tg(min)	T <sub>1</sub> =temps d'action ;	tg :temps- cumulé
10	10 - Fehler information – station UW ; Abgang : K <sub>1</sub> : - Information du défaut en K <sub>1</sub> à		
19	29 - Fahre Zu Knoten. K <sub>2</sub> ----- aller noeud K <sub>2</sub>		
05	34 - Bestimme fehlerrichtung-----determiner la direction du défaut		
07	41 – Fahre Zu Knoten K <sub>1</sub> ----- Aller au noeud K <sub>1</sub>		
10	51 – lasttr öffnen -----Ouvrir le disjoncteur		
09	60 – Fahre Zu Knoten K <sub>4</sub> ----- Aller au noeud K <sub>4</sub>		
05	65 – Lasttr- SchlieBen ----- Fermer le disjoncteur		
00	65 – Wiederversorgung: K <sub>1</sub> , K <sub>2</sub> , K <sub>3</sub> , K <sub>4</sub> —Réalimenter K <sub>1</sub> , K <sub>2</sub> , K <sub>3</sub> , K <sub>4</sub> .		

Pour l'exemple précédent, on donne les temps de réalimentation dans le cas d'un défaut entre K<sub>1</sub> et K<sub>4</sub>.

Fehler (défaut) / KP (noeuds)	K1	K2	K3	K4
	≡			
UW – K1	65	65	65	65
K1 – K2	92	70	70	70
K2 – K3	81	81	61	61
K3 – K4	58	58	58	74
Nøud K1	1241	41	41	41
Nøud K2	29	1229	29	29
Nøud K3	40	40	1240	40
Nøud K4	58	58	58	1274

→ Leitungs-fehler (défaut - câble)

→ station-fehler (défaut-poste)



On remarque que quand il s'agit d'un défaut poste, le temps de réalimentation de ce dernier est le plus élevé car on ne peut réalimenter qu'après avoir réparé ( la réparation est évaluée à 1200 min. )

## **Résultats : (Picardie 2)**

I / Les résultats consistent, en premier, en les valeurs caractéristiques de la fiabilité pour le départ global et les nœud donnés dans (référence : Conférence CMES, Skikda, 1994 ).

II / *Résultat d'analyse ( méthode markovienne ) :*

A ce niveau on détermine :

a) Les probabilités d'apparition de défauts sur une période donnée. Pour se faire, on utilise la loi de poisson. Nous justifierons l'ajustement par cette loi une fois que nous avons terminé le traitement statistiques des données historiques du réseau (référence : Medjoudj R., Thèse de Magister, Béjaïa, 1994) .

b) Les fréquences relatives et relatives cumulées pour des intervalles de temps variables. Les résultat sont donnés sous forme d'histogrammes et de courbes (référence :Idem, R. Medjoudj, Thèse de Magister, Béjaïa 1994).

III / *Résultats de Simulation ( Méthode de Monte Carlo ) :*

Soient considérées séparément les V.C.F ajustées par une loi de distribution connue. La variable aléatoire étant les instants de défaillances (défauts) pour un nombre de séquences fixé à 500.

Les résultats obtenus par cette méthode sont équivalents à ceux trouvés précédemment par la méthode analytique.

Pour améliorer les valeurs caractéristiques de la fiabilité, il est intéressant de considérer certaines variantes telles que :

- Equiper les postes des indicateurs de défauts
- Introduire des disjoncteurs avec temporisation lors d'une exploitation en bouche fermée du réseau.
- Introduire des sources de secours.
- Voir l'influence du régime du neutre
- Concevoir le réseau suivant les normes internationales (exemple : réduire le taux de défaillance du câble).

## **Conclusion :**

La recherche de défauts dans l'exploitation des réseaux électriques est une opération très délicate et d'une importance majeure. Son déroulement a un grand impact sur la fiabilité du réseau en général et sur la durée de remise en service en particulier. L'introduction et la maîtrise de la recherche automatique de défauts permettent de rétablir l'alimentation des consommateurs dans les plus brefs délais et soulagent les protections en tête de départs des efforts électrodynamiques répétés. La performance d'un réseau est évaluée sur la base des

indices de fiabilité, qui sont considérés comme des objectifs à atteindre par l'entreprise de distribution et de gestion de l'énergie. Tout apport technique ou organisationnel sur le réseau est évalué suivant les grandeurs obtenus de ces indices.

## CALCUL DES INDICES DE FIABILITE D'UN RESEAU ELECTRIQUE DE DISTRIBUTION MT

R. Medjoudj et D. Aÿssani

LANOS  
Laboratoire de Modélisation et  
d'Optimisation des Systèmes  
Centre universitaire de Béjaïa  
(Algérie)

### RESUME :

L'objet de ce travail est de calculer les indices de fiabilité d'un départ MT du poste source HT/MT Amirauté (N°594) du réseau 10 KV de la ville d'Alger. Pour améliorer les valeurs caractéristiques de la fiabilité (V.C.F) nous avons simulé deux variantes. La première consiste à équiper le réseau par des indicateurs de court-circuit alors que la deuxième considère le taux de défaillance du câble correspondant aux normes internationales. La comparaison des résultats de ces variantes avec ceux de l'état actuel du réseau permet de constater la réduction significative de la fréquence de coupure, la durée de coupure et l'énergie non distribuée.

**MOTS CLEFS :** Réseaux Electriques de Distribution, Indices de Fiabilité, Probabilités et fréquences d'apparition des défauts.

### INTRODUCTION :

Plus de 50 % des pannes enregistrées sur les réseaux électriques apparaissent au niveau des réseaux de distribution [2]. C'est pourquoi un intérêt particulier a été accordé à l'étude de la fiabilité de cette partie des réseaux [3]. Dans le premier paragraphe, nous décrivons brièvement les indices de fiabilité considérés dans ce travail. Le deuxième paragraphe est consacré au calcul de ces indices pour l'état actuel du réseau d'Alger (Départ Picardi 2) et des deux autres variantes proposées (afin d'améliorer la qualité de service aux consommateurs). Les calculs ont été effectués à l'aide du logiciel "ZV" réalisé en Turbo Pascal 6.0 en 1992 [1].

### 1) INDICES DE FIABILITE:

#### 1.1) INDICES DE FIABILITE D'UN POINT DE CHARGE [3].

La plupart des réseaux de distribution sont exploités

en structure radiale où les éléments sont considérés en série. Ceux qui sont en parallèle sont remplacés par l'élément équivalent comme représenté sur la figure (1).

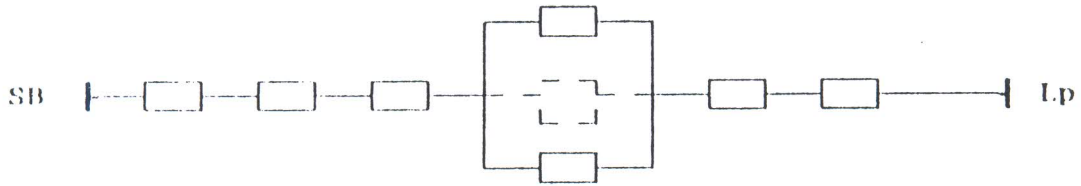


Figure (1): Système série avec éléments en parallèle

Les principaux indices de fiabilité sont:

- Fréquence de coupure / défaillance donnée par:

$$f_i = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} \quad (1)$$

- Durée moyenne de coupure donnée par:

$$T_i = \frac{\sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} \cdot T_{\alpha}}{\sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha}} \quad (2)$$

où  $\lambda_{\alpha}$  est le taux de défaillance et  $T_{\alpha}$  la durée de coupure de l'élément  $\alpha$ .

Si deux éléments  $\beta$  et  $\gamma$  sont en parallèle alors, ils sont remplacés par un élément équivalent  $\alpha$  tel que :

Le taux de défaillance est défini approximativement par:

$$\lambda_{\alpha} = \lambda_{\beta} \cdot \lambda_{\gamma} (T_{\beta} + T_{\gamma}) \quad (3)$$

Le temps équivalent de remise en service est donné par:

$$T_{\alpha} = \frac{1}{\mu_{\beta} + \mu_{\gamma}} = \frac{T_{\beta} \cdot T_{\gamma}}{T_{\beta} + T_{\gamma}} \quad (4)$$

où  $\lambda_{\beta}, \lambda_{\gamma}$ : les taux de défaillance respectifs des éléments  $\beta$  et  $\gamma$ .

$\mu_{\beta}, \mu_{\gamma}$ : les taux de de remise en service respectifs des éléments  $\beta$  et  $\gamma$  et sont les inverses des  $T_{\beta}$  et  $T_{\gamma}$ , les temps de remise en service des éléments  $\beta$  et  $\gamma$ .

- Energie non distribuée donnée par:

$$END_i = P_i \cdot T_i \quad (5)$$

où  $P_i$  est la puissance mise à disposition au point de charge  $i$ .

#### 1.2) FIABILITE DU SYSTEME:

Les indices de fiabilité du système sont exprimés en termes de moyennes pondérées par le nombre de consommateurs de ceux des points de charges à travers tout le système.

#### 11) APPLICATION AU DEPART PICARDI 2 :

Le départ Picardi 2 comprend 12 postes MT/BT et 14 tronçons de câble de longueur: 4.122 Km. La puissance totale demandée est de 3.416 MVA. Les Taux de défaillance du câble et du poste sont respectivement 0.31 (1/a.Km) et 0.01 (1/a). Le temps et la vitesse de déplacement entre postes sont respectivement 15 minutes et 30 Km/h. Les caractéristiques du câble sont données dans [4].

#### 11.1) VALEURS CARACTERISTIQUES DE LA FIABILITE (V.C.F.):

Le calcul de ces valeurs est effectué tout d'abord pour l'état actuel du réseau que nous représentons par la variante "0". Sur le tableau 1 sont données les V.C.F du réseau entier et sur le tableau 4 sont données celles des postes MT/BT.

Pour améliorer ces V.C.F nous avons simulé deux autres variantes:

- Variante "1" : équiper le réseau des indicateurs de défaut, ce qui signifie la réduction du temps de déplacement à 3 min.

- Variante "2" : considérer la variante "1" avec le taux de défaillance du câble de 0.04 (1/a.Km).

Les résultats obtenus sur les tableaux 3 et 4 pour le réseau entier et sur les tableaux 5 et 6 pour les postes montrent une nette amélioration des V.C.F. Nous remarquons principalement que le temps de déplacement n'influe pas sur la fréquence de coupure mais influe sur les autres valeurs. Le taux de défaillance du câble est un paramètre très influent sur l'ensemble des V.C.F.

#### CONCLUSION:

Cette étude permet de constater que l'équipement du réseau de moyens d'information (indicateurs de court-circuit) ainsi que sa réalisation suivant les normes internationales vont considérablement améliorer la qualité de service. Le logiciel "ZV" permet également de simuler d'autres variantes et de calculer les fréquences et les probabilités d'apparition de défauts sur une période donnée.

Soulignons néanmoins que les actions concrètes suggérées doivent être justifiées par une étude technico-économique (voir [6]).

#### REFERENCES:

[1] Jungckel;K.D.Haim "Zuverlassigkeitsanalyse von mittelspannungsneten" Fakultät Elektrotechnik Zittau (Allemagne) 1992.

[2] P.CARER , G.CABRIEL , Y.LAVAGNE , " Etude de fiabilité, Disponibilité et Maintenabilité pour améliorer la Qualité de Service". EDF.DER Electricité de France, 1993.

[3] R.BILLINTON, R.N.ALLAIN, "Distribution System Reliability Indices and their Evaluation". North Holland publishing company, 1982

[4] R.Medjoudj, D.Aissani, "Methodes de Recherche de Défauts et Calcul des Valeurs Caractéristiques de la Fiabilité d'un Réseau Electrique de Distribution MT". Rapport interne,- LAMOS- Béjaia, 1992.

[5] J.Endrenyi , "Reliability Modelling in Electric Power Systems". John Wiley, Toronto ,1978.

[6] Hammache.F, Ayadi.L, Aissani.D, Haim.K.D , "Analyse de Fiabilité en vue du Renforcement du Poste 60/30 KV Sonelgaz-Béjaia". Actes du Premier Colloque International sur l'Electrotechnique et l'Automatique, Alger (Aurassi), 1-16, 1990.

Valeurs caractéristiques de la fiabilité -Réseau entier-

Tableau 1: Résultats de la variante "0"		
Fréquence annuelle de coupure:	:	1.3978 déf/a
Energie annuelle non distribuée:	:	2605 kWh/a
Durée annuelle de coupure (réseau):	:	1459.2 min/a
Durée moyenne de coupure (poste):	:	121.6 min/a
Durée moyenne de coupure par défaut:	:	87.0 min/Vu
Dispersion de durée de coupure:	:	35.5 min/Vu

Tableau 2: Résultats de la variante "1"		
Fréquence annuelle de coupure	:	1.3978 déf/a
Energie annuelle non distribuée	:	1957 kWh/a
Durée annuelle de coupure (réseau):	:	1095.5 min/a
Durée annuelle de coupure (poste):	:	91.3 min/a
Durée moyenne de coupure par défaut	:	65.3 min/Vu
Dispersion de durée de coupure:	:	28.6 min/Vu

Tableau 3: Résultats de la variante "2"		
Fréquence annuelle de coupure	:	0.2849 déf/a
Energie annuelle non distribuée	:	587 kWh/a
Durée annuelle de coupure (réseau):	:	330.1 min/a
Durée annuelle de coupure (poste):	:	27.5 min/a
Durée moyenne de coupure par défaut	:	96.6 min/Vu
Dispersion de durée de coupure:	:	83.4 min/Vu

**Tableau 4: Résultats de la variante "0"**

poste	Wn[kWh/a]	tA[min/a]	tF[min/Vu]	ts[min/Vu]	hf[1/a]
996	230	105.0	75.1	38.8	1.398
1009	137	100.3	71.7	34.3	1.398
336	137	79.6	57.0	16.6	1.398
199	324	118.3	84.6	25.2	1.398
25	84	112.7	80.7	20.2	1.398
332	221	128.0	91.6	35.9	1.398
360	112	128.3	91.8	36.2	1.398
193	360	129.3	92.5	37.5	1.398
311	178	129.7	92.8	37.9	1.398
1301	138	139.4	99.7	44.6	1.398
1395	315	143.7	102.8	49.0	1.398
216	367	145.0	103.7	50.3	1.398

**Tableau 5: Résultats de la variante "1"**

poste	Wn[kWh/a]	tA[min/a]	tF[min/Vu]	ts[min/Vu]	hf[1/a]
996	176	80.4	57.5	30.8	1.398
1009	104	75.7	54.2	26.1	1.398
336	109	63.0	45.0	16.8	1.398
199	244	89.1	63.8	22.9	1.398
25	63	84.8	60.7	16.9	1.398
332	164	95.2	68.1	28.7	1.398
360	84	95.5	68.3	29.0	1.398
193	268	96.5	69.1	30.3	1.398
311	133	96.9	69.3	30.7	1.398
1301	102	102.8	73.6	33.6	1.398
1395	235	107.1	76.6	37.9	1.398
216	275	108.4	77.6	39.3	1.398

**Tableau 6: Résultats de la variante "2"**

poste	Wn[kWh/a]	tA[min/a]	tF[min/Vu]	ts[min/Vu]	hf[1/a]
996	54	24.7	86.7	82.7	0.285
1009	33	24.1	84.5	82.2	0.285
336	38	22.2	78.0	80.0	0.285
199	75	27.3	95.9	83.2	0.285
25	20	26.7	93.7	80.5	0.285
332	49	28.7	100.6	82.7	0.285
360	25	28.7	100.7	83.8	0.285
193	80	28.8	101.2	84.1	0.285
311	40	29.0	101.8	86.4	0.285
1301	29	29.5	103.5	82.4	0.285
1395	66	30.0	105.5	84.9	0.285
216	77	30.4	106.6	87.3	0.285

Wn.....Energie annuelle non distribuée.  
 tA.....Durée annuelle de coupure par poste.  
 tF.....Durée moyenne de coupure par défaut.  
 tS.....Dispersion  
 hf.....Frequence de coupure.



## **EXPLOITATION DES RESEAUX ELECTRIQUES DE DISTRIBUTION PAR LA FIABILITE**

*- Application au Réseau 10 KV de la Ville d'Alger -*

*Rabah MEDJOUJ et Djamil AISSANI*

**LAMOS**

*Laboratoire de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes  
Université de Béjaïa, 06000, Algérie  
Lamos\_Béjaia@hotmail.com*

Mots clés: Réseaux électriques, Indices de fiabilité, Optimisation, Planification et Exploitation.

### Résumé:

Un intérêt particulier a été accordé à l'application des techniques de fiabilité aux réseaux électriques de distribution. Des efforts considérables ont été développés pour assurer la sûreté de fonctionnement des systèmes et la qualité de service aux consommateurs de l'énergie. Dans cet article, nous considérons certaines actions d'exploitation et de planification traduisant des mesures d'ordres techniques et organisationnels afin d'améliorer la fiabilité des réseaux électriques de distribution et de répondre aux aspirations d'une clientèle de plus en plus exigeante. Comme il s'agit aussi de prendre en considération le critère économique donnant le meilleur rapport qualité de service / prix [1]. Une simulation sur le logiciel ZV pour le réseau 10 KV de la ville d'Alger a été effectuée [3] [4][5].

## Introduction :

A l'heure actuelle, les techniques de fiabilité sont appliquées avec succès dans le domaine des réseaux électriques [5]. En effet, beaucoup d'efforts sont développés pour assurer la sûreté de fonctionnement des systèmes et la qualité de service aux consommateurs. Cette mission dépend de la planification et de l'exploitation de ces réseaux. Un intérêt particulier est accordé à la partie distribution car plus de 60% des incidents apparaissent au niveau de cette partie des réseaux. La fréquence d'apparition des ces incidents, ainsi que leurs durées, caractérisent les indices de fiabilité d'un réseau électrique.

## I – Techniques de fiabilité :

L'intérêt primordial de toute étude de fiabilité est d'assurer une bonne qualité de service pour le consommateur [1]. Cette dernière se définit comme suit :

Qualité de service = disponibilité de l'alimentation en énergie + la qualité de l'énergie mise à disposition.

### I-1 - Disponibilité de l'alimentation en énergie :

Un réseau électrique de distribution peut être considéré comme un système sériel. Les éléments en parallèle sont remplacés par un élément équivalent en série. La disponibilité de l'alimentation en énergie pour un consommateur est caractérisée par les indices de fiabilité, à savoir :

- la fréquence moyenne annuelle des coupures :

$$f_c = \sum_{k=1}^n \lambda_k \quad (1.1)$$

- la durée moyenne des coupures :

$$t_c = \frac{\sum_{k=1}^n \lambda_k T_k}{\sum_{k=1}^n \lambda_k} \quad (1.2)$$

- la durée moyenne annuelle des coupures :

$$t_{c_a} = \sum_{k=1}^n \lambda_k T_k \quad (1.3)$$

Où,  $\lambda_k$  et  $T_k$  sont respectivement le taux de défaillance et la durée des coupures de l'élément  $k$ .

- la fonction de répartition de la durée des coupures  $H(t) = 1 - R(t)$  ;
- la fonction de fiabilité  $R(t)$ .
- l'énergie non distribuée :

$$END = P_c \cdot t_c \quad (1.4)$$

Où :  $P_c$  est la puissance mise à disposition au point de charge considéré.

### I-2- Qualité de la puissance mise à disposition :

Elle est caractérisée par la déviation du niveau de tension, la variation de la fréquence, et l'apparition des harmoniques.

L'amélioration du niveau de fiabilité consiste à :

- réduire le nombre de coupures annuelles du réseau ou des consommateurs ;
- réduire la durée moyenne de coupure du réseau ou celle d'un défaut ;
- réduire l'énergie non distribuée aux consommateurs ;
- augmenter la disponibilité du réseau et réduire la probabilité d'apparition des défauts ;
- créer un déclenchement sélectif des protections ;

Certaines de ces actions sont considérées lors de la planification et l'exploitation.

## II - Exploitation des réseaux électriques par la fiabilité :

### II- 1- Principales opérations d'exploitation :

Lors de l'exploitation des réseaux , on développe les idées suivantes :

- définir l'évolution de la demande sur la période d'étude ;
- imaginer et sélectionner les évolutions des réseaux, qu'il convient de comparer (voir proposition de variantes) ;

- choisir un critère de comparaison entre les solutions envisagées;
- calculer le courant de transit maximal, afin de vérifier que l'intensité correspondante ne dépasse pas les possibilités limites des ouvrages ;
- calculer la chute de tension maximale, afin de vérifier que la tension délivrée à la clientèle ne s'écarte pas trop de la tension nominale des appareils ;
- calculer les pertes, rubriques des frais annuels d'exploitation ;
- évaluer la défaillance du réseau pour valoriser la gêne économique.

Parmi les actions effectuées actuellement lors de l'exploitation des réseaux, on cite :

- a) la restructuration des réseaux, à savoir : [1]
  - le bouclage ou maillage de ces réseaux, pour plus de flexibilité en conditions de défauts ;
  - la réduction des longueurs des départs, par la création de nouveaux postes sources.
- b) l'automatisation des réseaux par l'installation des réenclencheurs en lignes et des détecteurs de défauts.
- c) La réalisation des travaux sous tension.

## II-2-Détermination du coût de l'exploitation :

Dans cette phase du travail il s'agit de trouver les meilleures décisions qui permettent de minimiser une fonction « objective ». Le critère économique considéré est généralement celui qui minimise l'espérance mathématique de l'expression donnée par l'équation (2.1).

$$\text{Min...} E \left[ \sum_{t=1}^T \frac{I_t + R_t + F_t}{(1+i)^t} - \frac{V_{T+1}}{(1+i)^{T+1}} \right]. \quad (2.1)$$

Où

- $T$  : horizon de planification.
- $t$  : indice du « pas de temps ».
- $I_t$  : coût des investissements.
- $R_t$  : coût des frais d'exploitation.
- $F_t$  : coût de la gêne économique.
- $V_{t+1}$  : valeur d'usage du système à la fin de la période de planification.

$i$  : taux d'actualisation caractérisant la politique financière de l'entreprise.

$E$  : opérateur d'espérance mathématique, prenant en compte les variables aléatoires qui affectent le système.

Il existe de nombreuses techniques mathématiques pour résoudre de tels problèmes. Elles peuvent être utilisées dans un programme informatique dont les résultats fournissent une aide utile à la décision [6].

### II-2-1- Coût d'investissements :

Les investissements s'effectuent sur un ou plusieurs ouvrages, dont la durée d'utilisation diffère d'un ouvrage à un autre

Soient :

$I_k$  : coût d'investissement unitaire de l'ouvrage  $k$ .

$I_{ka}$  : coût d'investissement annuel actualisé de l'ouvrage  $k$ .

Alors :

$$I_{ka} = I_k \frac{\gamma^n (\gamma - 1)}{(\gamma^n - 1)} \quad (2.2)$$

avec :  $\gamma = i + 1$  et  $n$  = année d'utilisation.

Si on a  $k'$  ouvrages, le coût annuel actualisé devient :

$$I'_{ka} = \sum_{k=1}^{k'} I_{ka} \quad (2.3)$$

le coût total d'investissement sur la période de planification  $T = [t_1, t_2]$  est :

$$I_t = \sum_{t=t_1}^{t_2} I'_{ka}(t) \cdot \gamma^{-t} \quad (2.4)$$

### II-2-2- Frais d'exploitation :

Les pertes maximales sont données par :

$$P_{\max} = r' J_{\max}^2 \quad (2.5)$$

Le coût annuel des pertes pour un tronçon de câble (ligne)  $k$  est donné par :

$$R_k = (K_p + K_w \cdot \theta \cdot T_a) P_{\max} \quad (2.6)$$

Si  $\nu$  est le facteur de variation de la charge, alors  $R_k$  devient :

$$R_k = (K_p + K_w \cdot \theta \cdot T_a) P_{\max} \cdot \theta \quad (2.7)$$

Avec :

$r'$  : résistance linéique en  $\Omega/\text{Km}$  ;

$I_{\max}$  : charge maximale en Ampères ;

$l$  : longueur de la ligne (câble) en Km ;

$K_w$  : tarif du Kwh ;

$K_p$  : tarif annuel du Kw ;

$\theta$  : rapport relatif à l'utilisation du réseau, (variant de 0.2 à 0.3) ;

$T_a = 8760$  h.

Si dans le réseau il y a  $K'$  tronçons, le coût total annuel est:

$$R'_k = \sum_{k=1}^{k'} R_k \quad (2.8)$$

Le coût total des pertes est donc:

$$R_t = \sum_{t=t_1}^{t_2} R'_k \cdot \gamma^{-t} \quad (2.9)$$

### II-2-3- Gêne économique :

Elle est ressentie principalement par l'utilisateur du réseau. Elle est formulée par les valeurs caractéristiques de la fiabilité.

La valorisation de la gêne économique varie d'un pays à un autre. On cite deux exemples.

#### a) Cas de la Norvège:

Le coût de défaillances est :

$$C_d = P_c (K_p + K_w \cdot t_c) = P_c \cdot K_p + END \cdot K_w \quad (2.10)$$

#### b) Cas de la France (EDF) :

Le coût de la défaillance est:

$$C_d = P_c (K_p f_c^2 + K_w t_c) = P_c K_p f_c^2 + END \cdot K_w \quad (2.11)$$

Où :

$f_c$  est la fréquence moyenne annuelle des coupures.

On remarque que dans le deuxième cas, la gêne économique est fonction quadratique du nombre de coupures. Cette valorisation oriente les investissements en priorité sur les zones les plus perturbées.

Le coût actualisé de la gêne économique est alors:

$$F_t = K_w \sum_{t=t_1}^{t_2} END \cdot \gamma^{-t} + K_p \sum_{t=t_1}^{t_2} P_c \cdot f_c^2 \cdot \gamma^{-t} \quad (2.12)$$

Finalement, le critère économique à optimiser s'écrit: Minimiser  $I_t + R_t + F_t$

Dans les applications, on considère des variantes interprétant les actions de planification et d'exploitation suscitées.

## III - Application au réseau 10 KV de la ville d'Alger [5].

Le réseau de distribution 10 KV de la ville d'Alger est souterrain et composé d'un ensemble de postes de transformation HT/MT. De ces derniers partent des départs qui alimentent les consommateurs par le biais des postes MT/BT. L'exploitation est réalisée en boucle ouverte (départs radiaux), avec des possibilités de bouclage entre postes HT/MT pour un éventuel secours. Notre choix s'est fait sur le poste HT/MT AMIRAUTE (25 MVA), d'où partent onze départs, car il est actuellement le point le plus chaud de l'exploitation, de part sa situation, ses charges et l'importance de la clientèle desservie.

La simulation a été effectuée sur le logiciel ZV (Valeurs caractéristiques de la fiabilité d'un réseau de distribution) réalisé en PASCAL 6.0 [3].

Ayant recueilli les données nécessaires relatives aux temps de remise en service, taux de défaillance des éléments du réseau, puissances (postes, lignes, câbles), longueurs, types, sections des lignes et câbles, nous avons effectué le calcul des valeurs caractéristiques de fiabilité pour un départ (AIT IDIR) du poste source AMIRAUTE [3].

### III -1- Calcul des valeurs caractéristiques de la fiabilité (V.C.F) :

Variante 1 : Etat actuel du réseau

Variante 2 : Automatisation du réseau, à savoir :

a) Installation des indicateurs de défauts ;

b) Installation des indicateurs de défauts plus des réenclencheurs en ligne.

**Variante 3 :** Restructuration du réseau : il s'agit de considérer le taux de défaillance du câble (ligne) conformément aux normes internationales.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous:

Variante V.C.F	"1"	"2a"	"2b"	3
$f_c$ (défaut/a)	2,7160	2,7160	2,7160	0,464
END (Kwh/a)	8032	5865	3138	1602
$t_c$ (min/a)	4954,7	3625,2	1933,4	985,9
$t_c$ (défaut) (min/a)	247,7	171,3	105,0	49,3

Pour évaluer les frais d'exploitation, on a effectué le calcul de répartition de puissance.

**III -2- Calcul économique de la variante "1" et de la variante "2a" :**

**Variante "1" :**

Avec un facteur de variation de la charge  $\rho = 3\%$  et une durée d'étude  $T = 5$  ans. Les pertes  $P_{max}$  passeront de 123,6 Kw à 169,19 Kw.

Sachant que  $K_p = 23,86$  DA/Kw,  $K_w = 66,10$  DA/Kwh et  $\theta = 30\%$ , le coût de la variante "1" est:

$$C_1 = I_{1r} + R_{1r} + F_{1r} = 138.08 \cdot 10^6 \text{ DA}$$

$$I_{1r} = 0 \text{ (pas d'investissements)}$$

**Variante "2" :**

$$I_{2r} = 6047.7 \text{ DA (coût des indicateurs de défauts)}$$

Le coût de la variante est :

$$C_2 = 137.46991 \cdot 10^6 \text{ DA}$$

d'où l'on retient la variante "2".

Ce même travail peut être étendu à d'autres propositions concernant la restructuration du réseau.

## CONCLUSION

La recherche d'une économie d'échelle sur la planification et l'exploitation des réseaux électriques de distribution, doit être aujourd'hui fondée sur des techniques nouvelles pour assurer leur sûreté de fonctionnement et mettre à la disposition du consommateur un produit de qualité.

Ces techniques nouvelles se veulent être des modèles de fiabilité facilement réalisables pour atteindre les objectifs tracés par toute compagnie d'électricité.

## Références

- [1] R. MEDJOU DJ, D.AISSANI, *Calcul des indices de fiabilité d'un réseau électrique urbain*, Actes du CMES'94, SKIKDA, 1994, pp. 7-12.
- [2] G. LATURNUS, *Politique d'EDF GDF SERVICES en matière de qualité de fourniture dans le domaine rural*, Acte du CIRED, Bermingham, 1993.
- [3] V. JUNGCKEL, K. D. HAIM, *Zuverlässigkeitanalyse vo mittelspnugsneten (ZV). Fakultat Electrotechnik, Zittau Allemagne*, 1992.
- [4] R. MEDJOU DJ, D. AISSANI, *Méthode de recherche de défauts et calcul des valeurs caractéristiques de fiabilité d'un réseau électrique MT*, Rapport interne, LAMOS, Béjaïa, 1992.
- [5] R. MEDJOU DJ, *Analyse de la fiabilité d'un réseau électrique urbain - Cas du réseau 10KV de la ville d'Alger* -, Thèse de Magister, Université de Béjaïa 1994.
- [6] D.AISSANI, M.MAHDI, H.SENDJAKEDDINE, *Optimisation des indices de fiabilité d'un réseau électrique urbain - Cas du réseau MT de Béjaïa* -, Mémoire d'ingénieurs, Institut national de planification et statistique, Alger, 1994.

## CHAPITRE VI :

### ***OPTIMISATION DE LA PLANIFICATION ET DE L'EXPLOITATION DES RESEAUX PAR LA FIABILITE***

VI.1. – Optimisation des indices de fiabilité d'un réseau électrique urbain . . . . .	92
VI.2. - Restructuration of MV Networks and computation of power répartition . . . . .	99

### ***REFERENCES***

- [1] Sandjakeddine H., Mahdi M., Medjoudj R., Aïssani D. (à paraître)
- [2] Medjoudj R., Aïssani D. et Haim K.D., *Proceedings of the AUPTDE-CIRED International Symposium*, Amman (Jordan), 1996.

# OPTIMISATION DES INDICES DE FIABILITE D'UN RESEAU ELECTRIQUE URBAIN

## Cas du réseau MT de Béjaia

M. MAHDI, H. SANDJAKEDINE, R. MEDJOU DJ, D. AÏSSANI

### LAMOS

Laboratoire de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes  
Université de Béjaïa (Algérie)

#### RESUME

L'objet de cette communication est de montrer qu'il est possible d'optimiser les indices de fiabilité d'un réseau électrique urbain.

La méthode du gradient projeté, dans le cas où les contraintes sont non linéaires, a été appliquée au réseau de distribution MT de Béjaïa. Un programme fortran a été adapté aux conditions spécifiques du réseau.

Les résultats obtenus, malgré l'insignifiance des données disponibles sur les coûts, montrent qu'il est possible de réduire considérablement le coût de la durée d'interruption.

Mots clés: Réseau électrique, indices de fiabilité, chaînes de Markov, optimisation.

#### INTRODUCTION

L'importance accordée par les compagnies d'électricité à la sécurité des systèmes et des personnels ainsi qu'à la qualité du service et du produit distribué explique leur intérêt pour les études de fiabilité (voir [1]).

Le calcul des indices de fiabilité peut se faire par exemple par application d'une méthode analytique [3]. L'application de la méthode de Dyer permet d'examiner la structure générale de la matrice des taux de transition et par conséquent d'utiliser un espace mémoire minimal [5]. Ces résultats permettent d'envisager l'amélioration des valeurs caractéristiques de la fiabilité (en proposant plusieurs variantes) [1].

Dans ce travail, nous montrons qu'il est possible également d'optimiser les indices de fiabilité d'un réseau électrique urbain. L'application de la méthode du gradient projeté [4] permet de prendre en considération les contraintes non linéaires.

Dans un premier temps, nous présentons le réseau MT de Béjaïa ainsi que sa modélisation par une chaîne de Markov à huit états [3]. L'optimisation des indices de fiabilité d'un réseau électrique est exposée dans le deuxième paragraphe. Le troisième paragraphe est consacré à la présentation des indices de fiabilité, obtenus par application de la méthode de Dyer [2]. Les résultats de la communication sont exposés dans le dernier paragraphe.

#### I - PRESENTATION DU RESEAU MT DE BEJAIA ET MODELISATION

##### a) Structure du réseau:

Le réseau sur lequel porte cette étude est un réseau de

distribution MT urbain bouclé et alimenté à partir du poste de transformation 60/30 Kv de Béjaïa. Il est constitué de deux départs (Ville2) et (Ville3) et est entièrement réalisé en souterrain. Il comporte 27 postes MT/BT dont 14 postes de distribution publique, 7 postes de livraison et 6 postes mixtes, qui sont reliés entre eux en coupure d'artères. Le raccordement des postes est réalisé par un câble souterrain de longueur  $l = 11.56$  Km

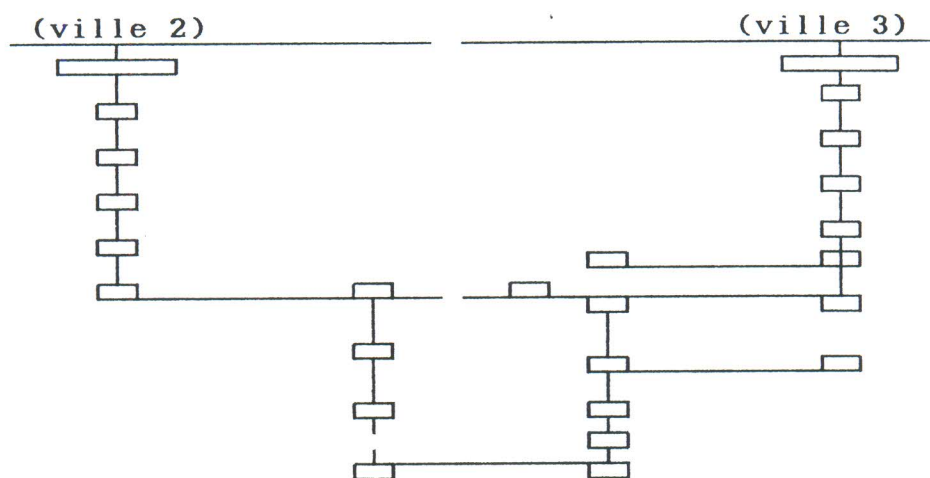


Schéma du réseau

b) Modélisation :

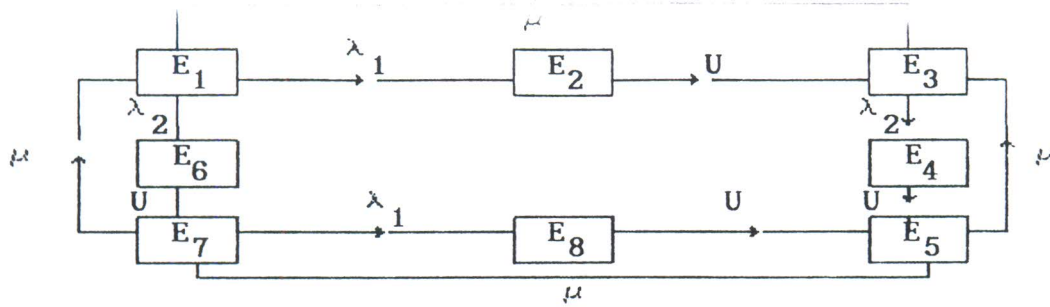
Les composants du système sont à taux de panne et de réparation constants. Ceci signifie que l'évolution du système peut être modélisée par des chaînes de Markov homogènes dans le temps.

Pour déterminer le système d'équations d'états, on définit tous les états possibles du système :

Etat	Ville	Défaut	Disjoncteur/prin	Boucle
E <sub>1</sub>	ville(2)	Néant	Fermé	Ouvverte
	ville(3)	Néant	Fermé	
E <sub>2</sub>	ville(2)	1 défaut	Ouvert	Ouvverte
	ville(3)	Néant	Fermé	
E <sub>3</sub>	ville(2)	1 défaut	Fermé	Fermée
	ville(3)	Néant	Fermé	
E <sub>4</sub>	ville(2)	1 défaut	Fermé	Ouvverte
	ville(3)	1 défaut	Ouvert	
E <sub>5</sub>	ville(2)	1 défaut	Fermé	Ouvverte
	ville(3)	1 défaut	Fermé	
E <sub>6</sub>	ville(2)	Néant	Fermé	Ouvverte
	ville(3)	1 défaut	Ouvert	
E <sub>7</sub>	ville(2)	Néant	Fermé	Fermée
	ville(3)	1 défaut	Fermé	
E <sub>8</sub>	ville(2)	1 défaut	Ouvert	Ouvverte
	ville(3)	1 défaut	Fermé	

Le graphe des états sera alors,





où  $\lambda_i$  représente le taux panne de la ville  $i$ ,  $\mu$  le taux de remise en service du réseau et  $U$  le taux de basculement.

c) Système d'équations d'états:

Soit  $P_i(t)$  la probabilité d'occupation de l'état  $E_i$  à l'instant  $t$ . Ces probabilités sont données par le système d'équations différentielles suivant:

$$P'(t) = P(t) \cdot V, \quad (1)$$

où  $P(t) = [P_1(t), \dots, P_n(t)]$  et  $V$  la matrice des taux de transition.

### III - OPTIMISATION DES INDICES DE FIABILITE D'UN RESEAU ELECTRIQUE

Pour pouvoir définir le système performant optimal, il est nécessaire d'introduire le coût de fiabilité et le ratio du coût effectif [6]. L'algorithme utilisé est basé sur la méthode du gradient projeté (voir [4]). En effet, cette méthode permet de calculer les indices de fiabilité optimaux, tout en minimisant le coût d'interruption.

a) Formulation du problème

Le système considéré est un réseau électrique de distribution, alimenté par un poste de transformation. Il est constitué de  $n$  départs ayant à la sortie un point de charge  $q$ . Le taux de panne et la durée d'interruption du point de charge sont donnés respectivement par les fonctions scalaires  $f_1$  et  $f_2$ ,

$$\lambda_q = f_1(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, r_1, r_2, \dots, r_n)$$

$$r_q = f_2(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, r_1, r_2, \dots, r_n)$$

où  $\lambda_i$  (respectivement  $r_i$ ) est le taux de panne (respectivement la durée d'interruption) du départ  $i$ .

Le problème d'optimisation est formulé de la manière suivante :

Minimiser  $y$  (qui représente le coût total d'interruption du réseau)  
 sous les contraintes  $0 < \lambda_q < C_1$

$$0 < r_q < C_2$$

où  $C_1$  et  $C_2$  sont des constantes positives.

Cette fonction objective est la somme de quatre types de coûts distincts :

$$y = y_1 + y_2 + y_3 + y_4$$

où,

$y_1$  est le coût initial d'interruption

$$y_1 = \sum A_i \cdot \lambda_i \cdot r_i / (h/an)$$

$y_2$  est le coût proportionnel au taux de panne

$$y_2 = \sum a_i \cdot KWA_i \cdot \lambda_i \cdot k$$

$y_3$  est le coût proportionnel au KWA-h perdu

$$y_3 = \sum a_i \cdot KWA_i \cdot \lambda_i \cdot r_i \cdot h_i$$

$y_4$  est le coût de modification

$$y_4 = \sum C \cdot \Delta \lambda_i$$

Avec,

$A_i$ , coût initial du départ  $i$ ;

$h/an = 8760$ ;

$a_i$ , pourcentage de puissance pour le départ  $i$ ;

$KWA_i$ , la puissance demandée par le départ  $i$ ;

$k$ , prix du kilowatt;

$h_i$ , prix du KWA-h perdu;

$C$ , coût d'une unité de panne;

$\Delta \lambda_i$ , variation du taux de panne pour le départ  $i$ ;

## b) Les contraintes

Pour définir le système de contraintes du problème considéré, des formules nous permettent de calculer les valeurs du taux de panne et de la durée d'interruption pour un point de charge  $q$  (voir [7]).

## II - APPLICATION DE LA METHODE DE DYER POUR L'ANALYSE DE FIABILITE

La méthode de Dyer est basée sur l'application des processus de Markov à paramètres homogènes et continus dans le temps. Après la détermination du système d'équations d'états (voir paragraphe I), il est nécessaire d'estimer certains paramètres mesurant les taux de transition d'un état à un autre. Ces derniers se résument en taux de remise en service, de panne et de basculement. Dans cette étude on utilise deux types de données : les données Sonelgaz et les données internationales (voir [3]). Les paramètres en question sont représentés dans le tableau suivant :

		Taux de panne	Taux de Répa	Taux de bas
Données Internationales	Ville (2)	$\lambda_1=0.0001564$	$\mu=0.72046$	$U=1.62$
	Ville (3)	$\lambda_2=0.0001439$	$\mu=0.72046$	$U=1.62$
Données SONELGAZ	Ville (2)	$\lambda_1=0.00041$	$\mu=0.72046$	$U=1.62$
	Ville (3)	$\lambda_2=0.00038$	$\mu=0.72046$	$U=1.62$

La matrice des taux de transition sera,

$$V = \begin{bmatrix} -(\lambda_1 + \lambda_2) & \lambda_1 & 0 & 0 & 0 & \lambda_2 & 0 & 0 \\ 0 & -U & U & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu & 0 & -(\lambda_2 + \mu) & \lambda_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -U & U & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mu & 0 & -2\mu & 0 & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -U & U & 0 \\ \mu & 0 & 0 & 0 & 0 & U & -(\lambda_1 + \mu) & \lambda_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & U & 0 & 0 & -U \end{bmatrix}$$

Les matrices de transition correspondantes aux modèles de fiabilité, de disponibilité et de réparabilité sont obtenues à partir de la matrice générale V (voir [5]). En particulier, la matrice correspondante au modèle de disponibilité coïncide avec cette matrice générale V des taux de transition. Les résultats obtenus (voir [5]) sont présentés dans le tableau ci-dessous :

	Taux de déf	indispo	T/coupure/a	E.non Distr
Données SONELGAZ	$\lambda_1=0.00041$ $\lambda_2=0.00038$ p/h	IDS=4.2744 $10^{-4}$	STc=4.27005 h/an	SEn=3.04967 $10^4$ Kwh
Données Internationales	$\lambda_1=0.000156$ $\lambda_2=0.000143$ p/h	IDI=1.85438 $10^{-4}$	ITc=1.6244 h/an	IEn=1.16017 $10^4$ Kwh

#### IV - APPLICATION AU RESEAU MT DE BEJAIA

Le réseau MT de Béjaïa est un système constitué de deux départs à configuration parallèle. Chacun des départs est caractérisé par deux indices : le taux de panne et la durée d'interruption. Pour élaborer un programme d'optimisation du système, il est nécessaire de définir la fonction à minimiser (fonction objectif) ainsi que l'ensemble des contraintes.

##### a) Fonction objective

La détermination de la fonction objectif nécessite la

connaissance préalable des données suivantes (voir paragraphe II).

d'éparts	VILLE 2	VILLE 3
Données		
$A_i$	20 DA	20 DA
$a_i$	50%	50%
$KWA_i$	2420 kW	2820 kW
$k$	0,728 DA/h	0,728 DA/h
$h$	0,728 DA/h	0,728 DA/h

Ainsi la fonction objective du problème sera :

$$y = 1089 \lambda_1 r_1 + 1269 \lambda_2 r_2 + 880,88 \lambda_1 + 1026,48 \lambda_2$$

b) Système de contraintes:

Les contraintes du problème vont concerner les indices de fiabilité du point de charge q.

Il s'agit donc d'optimiser les indices de fiabilité de chaque départ (ville2 et ville3) sans que ceux du point de charge ne dépassent les valeurs  $C_1$  et  $C_2$ . Ces dernières s'obtiennent à partir des résultats du paragraphe précédent, en prenant les durées d'interruption égales aux indisponibilités.

La définition de la configuration et du nombre de départs du réseau nous permettent de poser le système de contraintes comme suit

$$0 < \lambda_q = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)}{1 + \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2} \leq C_1 = 0,0003$$

$$0 < r_q = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \leq C_2 = 3,5$$

c) présentation du programme

Le programme élaboré permet de rechercher le maximum d'une fonction F avec des contraintes bilatérales ou unilatérales. Il contient un programme principal, cinq sous programmes de traitement, quatre sous-programmes d'introduction des fonctions et un DATA pour introduire les données [7].

V - INTERPRETATION DES RESULTATS

Les résultats obtenus montrent que les taux de panne des deux départs ont nettement baissé.

Indices	valeurs initiales (initiales)	
$\lambda_1$	0,00041	0,00022
$\lambda_2$	0,00038	0,00020
$r_1$	4,27005 h/an	4,27892 h/an
$r_2$	4,27005 h/an	4,26874 h/an
F	4,716 DA	2,514 DA

Quant à la durée d'interruption, on remarque sa diminution pour le deuxième départ (ville3), alors que sa valeur s'accroît pour le premier départ (ville2). Cependant, la variation de cette dernière grandeur n'est pas importante.

Nous remarquons enfin, que malgré l'insignifiance du coût résultant de l'interruption du réseau, celui-ci a considérablement baissé (50%), comparativement à sa valeur initiale.

#### R E F E R E N C E S

- [1] D. AISSANI et R. MEDJOU DJ, Calcul des indices de fiabilité d'un réseau électrique de distribution MT. Proceedings of the conference "Modelling and Simulation of Electrical Systems", 1994, pp. 7 - 12.
- [2] DANNY DYER ,Unification of Reliability / Availability / Repairability Models for Markovs systems , IEEE Trans. on Reliability, Vol 38, No 2 , Juin 1989, pp. 246 - 251.
- [3] F. BORDJIOUA, S. MANSOURI, D. AISSANI , M. BIROUCHE, Application de la méthode Markovienne à l'analyse de fiabilité d'un réseau électrique urbain. Annales Maghrébines de l'Ingénieur, Numéro Hors série, Vol I, pp. 53 - 59, 1991.
- [4] J. LEGRAS, Algorithmes et programmes d'optimisation non linéaires avec contraintes. Edition Masson, 1980.
- [5] M. BIROUCHE, D. AISSANI, M. MAHDI, H. SANDJAKEDINE, Unification des modèles de Fiabilité/Disponibilité et Réparabilité pour un réseau électrique urbain. Actes des Journées de Statistiques Appliquées, Alger, 1994, pp. 126 et suivantes.
- [6] A. SALLAM, M. DESOUKY, H. DESOUKY, Evaluation of Optimal-Reliability Indices for Electrical Distribution Systems. IEEE Transactions on Reliability, vol. 39, N° 3, 1990, pp. 259 - 264.
- [7] M. MAHDI, H. SANDJAKEDINE, mémoire d'Ingéniorat, Institut National de Planification et de la Statistique, Alger, décembre 1994.

# RESTRUCTURATION OF MV NETWORKS AND COMPUTATION OF POWER

## REPARTITION - (THE CASE OF ALGIER'S URBAIN 10KV NETWORK) -

Ing. R. MEDTOUDI, Prof. D. ATSSANI and Dr. Ing. K. D. HALM

(L. A. M. O. S)

Laboratory of Modelling and Optimisation of Systems  
University of Algiers (Algeria)

### KEY-WORDS:

Energy distribution network, reliability indices, optimisation and economical study.

### ABSTRACT :

Some of the important factors for the well functioning of the MV energy distribution networks and good quality of service for customers are the knowledge of the transit charge in each part of the network and the voltage of each knot of this one [1].

In the present work, we have computed the power repartition for certain departures of AMIRAUTE HV/MV (N°594) station of Algier's urbain network, taken individually and then for a larger part of the network made from a multitude of departures. Two types of modifications of the structure of the network are simulated. The first one corresponds to a loss of departure, imprecided modification. The second one corresponds to a reinforcement of the network, predicted modification such that the long departures be reduced [2].

The computations are made with "ZV" [3] software. The results obtained indicates that we can improve reliability indices of the network through restructuration. However, to take the optimal investment

[4].

### INTRODUCTION:

Le point de départ de toute planification sur les réseaux de distribution est évidemment la connaissance des charges qu'ils transitent.

La détermination du développement optimal d'un réseau s'effectue alors sur un modèle représentant ce dernier et la demande en énergie, en appliquant des méthodes technico-économiques.

A la base des principales méthodes utilisées pour la planification des réseaux de distribution, se trouve l'exploitation de deux idées à savoir:

- la nécessité de dynamiser l'étude;
- la qualité de service au niveau des études de planification;

a) Nécessité de dynamiser l'étude :

cette dynamisation a trois implications :

- la définition de l'évolution de la demande sur la période d'étude;
- l'imagination et la sélection des évolutions des réseaux, qu'il convient de comparer. Des variantes sont proposées et les calculs ont été effectués.

- le choix d'un critère de comparaison entre les solutions envisagées, à savoir une fonction de coût, basée sur le principe de l'actualisation et des critères de décision.

b) Qualité de service au niveau des études de planification:

L'évolution de la demande est caractérisée par l'élévation très sensible des exigences de la clientèle en ce qui concerne le produit distribué. Lors de la planification, il est essentiel d'effectuer les différents types de calculs suivants:

- calcul du transit maximal, afin de vérifier que l'intensité correspondante ne dépasse pas les possibilités limites des ouvrages.

- calcul de la chute de tension maximale afin de vérifier que la tension délivrée à la clientèle ne s'écarte pas trop de la tension nominale des appareils;

- calcul des pertes, rubrique des frais annuels d'exploitation des réseaux;

- calcul de la défaillance en continuité de service pour évaluer l'énergie non desservie (distribuée) du fait d'un incident sur un ouvrage;

AD-CALCUL COMPLEXE DE REPARTITION DE PUISSANCE EN VUE DE LA RESTRUCTURATION DU RESEAU;

Pour connaître la répartition de la charge et afin d'assurer un fonctionnement normal pour les différents ouvrages du réseau, on effectue le calcul de répartition de puissance. En outre, ce calcul nous donne les valeurs des pertes de puissance active, de l'intensité maximale qui transite dans chaque tronçon et de la tension au niveau de chaque accès du réseau.

Nous allons présenter certains départs dans l'état actuel d'exploitation pris individuellement, puis le réseau constitué de plusieurs départs. Nous examinerons ce dernier cas avec des modifications imprévues (perte d'un tronçon) ou prévues (renforcement) de la structure.

ID=CALCUL DE REPARTITION DE PUISSANCE POUR LE RESEAU ACTUEL;

I.1) SIMULATION DES DEPARTS PRIS INDIVIDUELLEMENT:

a) Départ Picardi 2:

La tension diminue progressivement en allant vers l'aval du poste 594 (poste source) mais reste dans les limites ( $\pm 10\%$ ).

La proportion du courant de charge par rapport au courant maximal ( $I/I_{max}$ ) dans le tronçon (594-996) est de 106 % (donc ce dernier est surchargé).

b) Départ Rais-Hamidou 1:

Il n'y a pas de tronçon surchargés, par contre il y a une diminution progressive de la tension dans la plage de variation prévue.

c) Départ Rais-Hamidou 2:

Le tronçon (594-155) est surchargé. Sachant que la tension au niveau du poste 594 est fixée à 10.5 KV, elle atteint aux différentes extrémités du départ les valeurs suivantes:

\* 9.995 KV au poste 1240

\* 10.023 KV au poste 1490

\* 10.048 KV au poste 408

\* 10.280 KV au poste 311

On remarque que plus les tronçons en série sont longs, plus la chute de tension est élevée et que les tronçons surchargés sont souvent ceux qui sont reliés au poste source.

I.2) SIMULATION D'UN RESEAU A PLUSIEURS DEPARTS :

Nous considérons la partie du réseau constituée de sept départs (Louni-Arezki, Picardi1, Picardi2, Rais-Hamidou1, Rais-Hamidou2, Said-Touati et Pointe-Pescade3) représentée sur la figure 1.

tronçons (594-990) et (594-155), où les proportions  $I/I_{max}$  sont passées respectivement de 106,3 % à 70,9 % et de 107,8 % à 52,6 %. En second lieu, par les tronçons (16-1004) et (358-352) où les  $(I/I_{max})$  sont passées respectivement de 6,2 % à 20,4 % et de 0,1 % à 21,6 %.

Ces résultats, comparés aux précédents nous donnent l'avantage de cette dernière simulation pour définir les points d'ouvertures adéquats pour une bonne répartition de la charge.

## II) CALCUL DE REPARTITION DE PUISSANCE APRES MODIFICATION IMPREVUE

### II.1) CAS DE PERTE DU TRONCON (594-25):

Les charges qui transitent et les rapports  $I/I_{max}$  sont modifiés. Il y a une augmentation considérable de ces deux dernières grandeurs. Par conséquent, les chutes de tension deviennent élevées.

### II.2) CAS DE PERTE DU TRONCON (594-732) :

Il y a augmentation des grandeurs déjà citées mais inférieure au cas précédent.

Nous concluons en disant qu'un défaut dans le réseau provoque non seulement l'interruption de l'alimentation au consommateur mais aussi la surcharge de la partie saine du réseau et que la surcharge varie avec l'importance du tronçon en défaut.

## III) CALCUL DE REPARTITION DE PUISSANCE APRES MODIFICATION PREVUE:

Une des propositions souvent présentée par les centres de recherches à des compagnies d'électricité (Exemple de EDF, voir [5]) pour assurer une bonne continuité de service, est d'ajouter des postes HT/MT et de raccourcir les départs MT.

Pointe Pescade 3. On élimine le Tronçon (408-581) et on alimente le côté 581 à partir du poste 25. Les résultats de répartition de puissance avant et après la modification sont résumés dans le tableau 1:

Ces résultats nous montrent l'importance de cette dernière modification pour l'amélioration des caractéristiques du réseau en exploitation. Cependant, la décision d'investissement et son caractère optimal pour effectuer cette restructuration nécessite un calcul technico-économique.

On note ici une nette corrélation entre le niveau de défaillance des réseaux de distribution et leur structure (longueurs des départs). Les réseaux les plus performants sont structurés en départs courts. Ainsi la comparaison de deux départs du poste (594) (Pointe Pescade 3 et Picardi 2) donne les résultats du tableau 2.

## B ) METHODES ANALYTIQUES DE PLANIFICATION

La décision d'investissement et son caractère optimal sur le renouvellement d'ouvrages existants ou la création d'ouvrages nouveaux, ne peuvent s'analyser sans tenir compte des conséquences de cette décision à la fois sur les frais d'exploitation résultants et sur la qualité du produit distribué. Nous allons définir un critère économique qui consiste à minimiser la fonction "objectif" et certains critères de décision qui aident au choix entre les solutions envisagées lors de traitement de la qualité de service.

### I) FONCTION COUT:

On distingue trois constituantes principales de la fonction coût à savoir:



- les investissements  $I_t$ ;
- les frais d'exploitation  $R_t$ ;
- la gêne économique  $F_t$ ;

Le critère économique en question, est celui qui minimise la fonction coût et est défini par:

$$\text{Min } \sum_{t=1}^T \frac{I_t + R_t + F_t}{(1+i)^t} - \frac{V_{T+1}}{(1+i)^{T+1}}$$

où,

T: Horizon de planification;  
i: Indice du "pas de temps".

de planification;

i: est le taux d'actualisation;

Les constituantes de la fonction coût seront calculées en valeurs actualisées. Par conséquent, on introduit le taux d'actualisation  $i$  qui caractérise la politique d'investissement de l'entreprise.

Les frais d'exploitation sont formulés en termes de pertes de puissance active dans les lignes ou câbles. Les pertes maximales sont données par:

$$P_{\max} = 3I_{\max}^2 \cdot R' \cdot l$$

Le coût annuel des pertes est donné par:

$$k_k = (k_p + k_w \cdot \theta \cdot T_a) P_{\max}$$

avec:

$R'$ : Résistance linéique ( $\Omega / \text{Km}$ );

$I_{\max}$ : Charge maximale;

$l$ : Longueur de la ligne (câble);

$k_w$ : Tarif du Kwh;

$k_p$ : Tarif annuel du Kw;

$\theta$ : Facteur de charge;

$T_a = 8760h$

La gêne est ressentie principalement par l'utilisateur du réseau. Les constituantes principales sont les valeurs caractéristiques de la fiabilité. Ces dernières sont exprimées en termes du nombre de coupures annuelles, de leurs durées et de l'énergie annuelle non distribuée.

L'optimisation technico-économique est obtenue en majorant la valorisation de la défaillance par l'ajout d'un terme représentatif de la gêne causée par un nombre excessif de coupures. Celui ci, fonction quadratique du nombre de coupures, oriente les investissements en priorité sur les zones les plus perturbées [6].

## 11) CRITERES DE DECISION:

Le premier critère de décision que nous avons défini, repose sur la valeur minimale de la fonction coût. La variante convenable à retenir, parmi d'autres proposées est à celle que correspond la plus petite valeur de la fonction "objectif" déjà définie auparavant.

Le deuxième critère est celui qui met en évidence l'incertitude des données, à savoir le facteur de variation de la charge.

Notre objectif est de minimiser le coût total regroupant les investissements, les pertes et les frais d'exploitation. Pour cela, et pour nos calculs, on se limite aux critères Min-Max et de Bayes-Laplace (dits pessimistes).

## CONCLUSION:

Le souci constant de toute compagnie d'électricité, de satisfaire ses besoins en économie et celui d'offrir à la clientèle une qualité de service supérieure, se caractérise par la réduction du nombre de coupures et leurs durées. Ces objectifs seront atteints en s'appuyant sur l'automatisation et la restructuration des réseaux ainsi que la fiabilisation des ouvrages de ces derniers.

La réduction des longueurs des départs longs, par la création de nouveaux postes sources est une des actions de la restructuration. Mais, la recherche d'une économie d'échelle sur les postes sources conduit naturellement à les développer au maximum, en étendant leur zone d'action qu'à en multiplier le nombre.

Les décisions à prendre sont fondées sur un calcul technico-économique et plusieurs critères de décision. Ces derniers ont été présentés. Les résultats obtenus, lors d'une application au réseau 10 KV d'Alger, confirment que les différentes techniques sont adaptables aux conditions algériennes.

#### REFERENCES:

(1): C. A. GROSS, "Power system analysis", John Wiley & Sons, USA, 1979.

(2): J. L. FRAISE; A. MARTY, "Dist. Elec. Autom. Syst. Elec. Elec. Syst. (IIEE)", 1998.

(3): Jungnickel ; K. D. Haim , " Zuverlässigkeitsanalyse von mittelspannungsnetzen (Z.V) ". Fakultät Elektrotechnik, ZITTAU (Allemagne), 1992.

(4): F. Hammache; L. Ayadi; D. Aissani; K. D. Haim , " Analyse de fiabilité en vue d'un renforcement du poste de transformation 60/30 KV de Béjaia. Actes du 1<sup>er</sup> colloque international sur l'électrotechnique, Alger (Aurassi), 1-10, 1990.

(5): R. MEDJOUJ, Calcul et évaluation de la fiabilité d'un réseau électrique urbain -cas du réseau 10 KV d'Alger-, Thèse de Magister à soutenir en Septembre 1994, Centre universitaire de Béjaia.

Caractéristiques	Avant la modification	Après la modification
N <sup>bre</sup> de tronçons surchargés	20	14
Tension minimale aux noeuds	9.014 KV	9.888 KV
Surcharge maximale I/I <sub>max</sub>	152.7 %	145.6 %
Puissance appelée		
Les prévisions sur 11 ans (1993-2003) donnent les résultats suivants (en 2003) avec un facteur de variation de la charge q=1.03		
N <sup>bre</sup> de tronçons surchargés	38	24
Tension minimale aux noeuds	8.372 KV	9.668 KV
Surcharge maximale	215.9 %	199.6 %
Puissance appelée	32.735 MVA	31.654 MVA

Tableau 1: Résultats récapitulatifs du calcul de répartition de puissance;

Désignations	Pointe. P. 3	Picard. 2
Longueur du départ	21.258 Km	4.122 Km
Fréquence de coupure	8.4 déf/a	1.6864 déf/a
Durée de coupure	1449.3 min/a	137.3 min/a

Tableau 2: Résultats de comparaison des valeurs caractéristiques

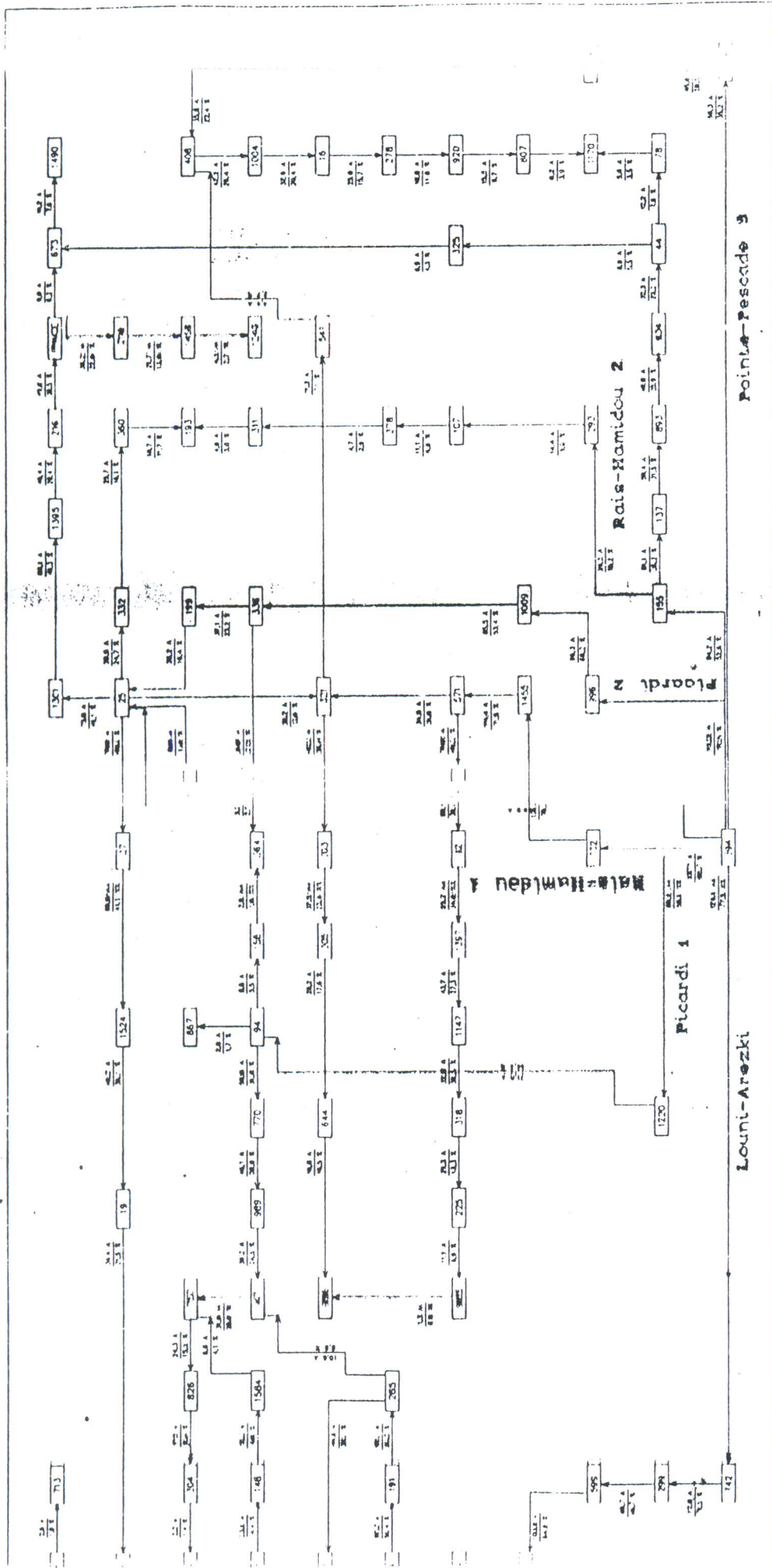
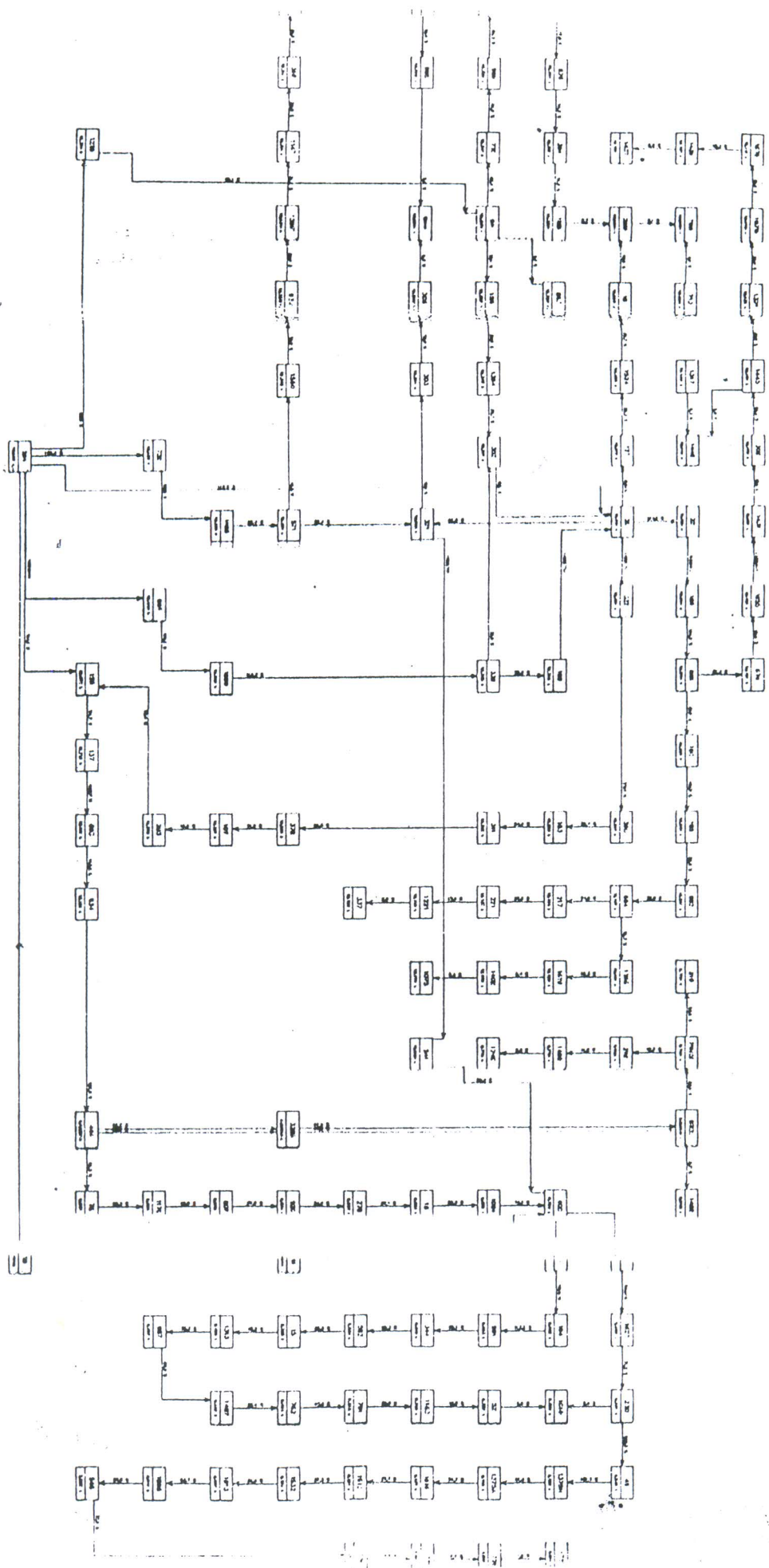


Figure 4: Structure d'une partie de réseau MT (état normal)

Figure 2 Structure d'une partie du réseau MT  
 (avec les tensions en KV et les I<sub>max</sub>)



CHAPITRE VII :

***ASPECTS ECONOMIQUES DE LA FIABILITE***

V.1. – Economic aspects of distribution power system reliability: application to a 30 Kv network of Béjaïa: application au réseau 10 Kv de la ville d'Alger .....108

***REFERENCE***

[1] Medjoudj R. and Aïssani D., *Economic aspects of distribution power system reliability. Application to a 30 Kv network of Béjaïa (Algeria)*, In the Book *Mathematical Methods in Reliability*, Proceedings of the Third International Conference *MMR'02*, Trondheim (Norway), June 2002, pp. 441 - 444.

# Economic Aspects of Distribution Power System Reliability. Application to a 30KV network of Béjaia, Algeria

Rabah MEDJOU DJ

LAMOS

Laboratory of Modeling  
and Optimization of Systems  
University of Bejaia, 06000 Algeria  
E-mail: lamos\_bejaia@hotmail.com

Djamil AISSANI

LAMOS

Laboratory of Modeling  
and Optimization of Systems  
University of Bejaia, 06000 Algeria  
E-mail: lamos\_bejaia@hotmail.com

## Abstract

Distribution systems are the part of power systems that deliver energy from the area supply to the customers. The reliability indices sought-after are frequency and mean duration of interruptions and the non-delivered energy (NDE). To improve these indices, technical and organizational measures are considered. When decisions are made about the level of reliability to be achieved in a system, an attention must be paid to the economic factors, such as the incremental costs of reliability, the benefits expected from a change in reliability, and the allocation of the reliability investment among the system. However, an objective function is defined with the goal to determine an optimal balance between the gains realized from higher reliability and the cost of providing it. This function, minimizes the sum of costs of investments, operation expenses (losses) and economic inconvenience ( damage caused to customers ).

In this paper, an application is done for an Algerian electric distribution system by simulation . The actual state of the system is undertaken, and its reliability indices are compared with those computed under the measures already described. The results acquired, show major advances and contribute further on the understanding the relative importance of the economic aspects of reliability.

key words: Reliability, Distribution power systems, Economic aspects.

## Introduction

At present, the reliability technics are successfully applied on the electrical supply networks field (Medjoudj, 1994). Indeed, much efforts are developed to ensure the reliability of the systems and the quality of service to customers. This mission depends of planning and the exploitation of these networks. More then 60% of interruptions appear in the distribution level. For this, a particular interest is granted to this part of networks. The frequency of appearance of the interruptions and their duration characterize the indices of reliability of an electrical network.

### 1 Technical aspects of reliability

The paramount interest of any study of reliability is to ensure a good quality of service to customer (Medjoudj and D.Aissani, 1994) defined as a combinaison of availability of the

energy supply and the quality of the energy available at customers (Medjoudj, 1994).  
The availability of the energy supply for a customer is characterized by (Endrenyi, 1978):

- The annual average frequency of failures :  $f_c = \sum_{k=1}^n \lambda_k$  (fault/year).
- The average duration of failures :  $t_c = \frac{\sum_{k=1}^n \lambda_k T_k}{f_c}$  (hour).
- The annual average duration of failures :  $t_{ca} = \sum_{k=1}^n \lambda_k T_k$  (hour/year).
- The non delivered energy to the customer :  $NDE = P_c t_{ca}$  (kwh/year).

Where :  $\lambda_k$  and  $T_k$  are respectively the failure rate and the down-time of the component  $k$  in a system of  $n$  elements and  $P_c$  is the power offered for a customer cut.

The quality of power offered to a customer is characterized by the deviations of the voltage level, the voltage curve and the frequency. To improve the reliability level, technical and organizational measures are considered during the planning and the exploitation of electrical distribution network. The actions currently carried out at the time are:

- a) reorganization of the networks by:
  1. the looping or grid of these networks, for more flexibility in failure conditions.
  2. the reduction lengths of the departures, by the creation of new source stations.
- b) automation of networks by installing the interlocking in lines and the fault detectors.
- c) realization of work under tension.

## 2 Economic aspects of reliability

An attention is paid to the economic factors. The economic criterion considered is that which minimizes the expectation of the objective function given by the equation 1.

$$\min E \left[ \sum_{t=1}^T \frac{I_t + R_t + F_t}{(1+i)^t} - \frac{V_{T+1}}{(1+i)^{T+1}} \right] \quad (1)$$

Where:

$T$ : horizon of planning;  $t$ : index of time step;  $I_t$ : cost of investments;  $R_t$ : cost of operation expenses (losses);  $F_t$ : cost of economic inconvenience;  $V_{T+1}$ : practical value of the system at the period of planning;  $i$ : up-dating rate characterizing the financial policy of the company.  
 $E$ : operator of expectation, taking in account the random variables which affect the system.

### 2.1 Cost of investments

Let:

$I_k$ : unit capital cost of a work,  $k$ ;

$I_{ka}$ : annual capital cost brought up to date of work  $k$ :  $I_{ka} = I_k \frac{\gamma^n (\gamma-1)}{(\gamma^n - 1)}$ .

with  $\gamma = i + 1$  and  $n =$  year of use.

If there are  $k'$  works, the annual cost updated becomes :  $I'_{ka} = \sum_{k=1}^{k'} I_{ka}$ .

The total cost of investments over the period of planning is:  $I_t = \sum_{t=t_1}^{t_2} I'_{ka} \gamma^{-t}$ .



## 2.2 Cost of operation losses

The maximum losses are given by :  $P_{max} = 3r' I_{max}^2 l$ .  
 The annual cost of losses for a length of cable (line)  $k$  is:  $R_k = (K_p + K_w \theta T_a) P_{max} \nu$ .  
 with :

$r'$ : the linear electrical resistor in  $\Omega/\text{Km}$ ;  $I_{max}$ : the maximal loading in Amperes;  $l$ : the length of the line (cable) in Km;  $K_w$ : the tariff of kwh;  $K_p$ : the tariff of kw;  $\theta$ : the ratio defining the use of the network;  $\nu$ : the variation factor of demand;  $T_a = 8760$  h. If, the network contains  $k'$  sections, the total annual cost is :  $R'_k = \sum_{k=1}^{k'} R_k$ .  
 The total cost of losses is thus :  $R_t = \sum_{t=t_1}^{t_2} R'_k \gamma^{-t}$ .

## 2.3 Cost of economic inconvenience

It is felt mainly by the user of the network. The valorisation of economic gene varies from country to another. Two examples are quoted.

- a) Case of Norway : the cost of the failure is :  $C_d = P_c(K_p + K_w t_c) = P_c K_p + NDE.K_w$ .
- b) Case of France : The cost of the failure is :  $C_d = P_c(K_p f_c^2 + K_w t_c) = P_c K_p f_c^2 + NDE.K_w$ .

It is noticed that in the second case, the economic embarrassment is a quadratic function of the number of failures. This valorisation directs the investments in priority on the most disturbed zones.

The updated cost of economic gene is then :  $F_t = K_w \sum_{t=t_1}^{t_2} NDE \cdot \gamma^{-t} + K_p \sum_{t=t_1}^{t_2} P_c f_c^2 \gamma^{-t}$ .  
 Finally, the economic criterion to optimize is written

$$\text{Minimize } I_t + R_t + F_t \quad (2)$$

## 3 Application to the 30kv network of BEJAIA

Having collected the necessary data relating to times of failures, failure rates of the the network components and other electrical characteristics, we perform the calculation of reliability indices. Simulation was carried out on soft ware ZV, developed in PASCAL 6.0 (Jungnckel and Haim., 1992).

### 3.1 Technical calculation

The reliability indices (R.I) are calculated for three alternatives defined as below:

Alternative 1: Current state of the network

Alternative 2: Automation of the network by

- a) Installation of faults indicators .
- b) Installation of faults indicators an reclosers in line.

Alternative 3: Reorganization of the network, by changing cables. This correspondes to the failure rate of cable in accordance with the international data.

The results are recapitulated in the table below .

Table 1: The results of reliability indices for different alternatives

Alternative / (R.I)	1	2a	2b	3
$f_c$ (fault/year)	2.7160	2.7160	2.7160	0.4648
NDE (kwh/year)	8032	5865	3138	1602
$t_{ca}$ (hour/year)	82.6	60.4	32.2	16.4
$t_{fault}$ (hour/year)	4.1	2.8	1.8	0.8

### 3.2 Economic calculation

It is carried out for alternative 1 ( no investments) and alternative 2a (with  $I_k = 60477.0$ DA (cost of fault indicators in Algerian money )).

With:  $\nu = 1.03$ ,  $T = 5$  years and  $i = 3\%$ : the losses pass from 123.6kw to 169.19kw.

With :  $K_p = 23.86$  (DA / kw) ,  $K_w = 66.10$  (DA/ kwh)and  $\theta = 30\%$ .

The cost of alternative 1 given by the equation (2) is equal to :  $C_1 = 138.08 \times 10^6$  DA.

The cost of alternative 2a given by the equation (2) is equal to :  $C_2 = 137.46 \times 10^6$  DA.

From where, one retains the alternative 2a.

### Conclusion

The search for an economy of scale on the planning and the exploitation of the electrical distribution networks, must be today founded on new techniques to ensure their reliability and place at the disposal of the customer a product of optimal quality. The new technics are wanted to be easily feasible and applicable by reliability models to achieve the goals aimed at by any company of electricity.

### References

- Endrenyi, J. (1978). *Reliability modeling in electrical power systems*. John Wiley and Sons ltd, Toronto.
- Jungnickel, V. and Haim., K. (1992). *Zuverlässigkeitanalyse vo mittelspannungsneten (zv). Fakultat electrotechnik, Zittau, Allemagne.*
- Laturnus, G. (1993). *Politique d'EDF GDF services en matière de qualité de fourniture dans le domaine rural. Acte du CIRED, Bermingham.*
- Medjoudj, R. (1994). *Analyse de la fiabilité d'un réseau électrique urbain - cas du réseau 10 KV de la ville d'Alger -*. Thèse de magister, Université de Béjaia.
- Medjoudj, R. and Aissani, D. (1994). *Méthodes de recherche de défauts et calcul des valeurs caractéristiques de fiabilité d'un réseau électrique mt. Rapport interne, LAMOS , Béjaia.*
- Medjoudj, R. and D.Aissani (1994). *Calcul des indices de fiabilité d'un réseau électrique urbain. Actes du CMES'94, Skikda, pages 7-12.*

## ANNEXE

Modèles de Fiabilité Ingénieur .....	113
Discussions technico-scientifiques (Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble) .....	115
Stage: Lois et Tests de Fiabilité .....	119

## REFERENCES

- [1] Aïssani D., Aïssani D., *Fiabilité et Sciences de l'Ingénieur*, Revue **MATAPLI** (Société Française des Mathématiques et Industrielles), N° 54, Paris, Avril 1998, pp. 65 – 66.
- [2] - [4] Aïssani D., S. Adjabi, N. Oukaour, F. Bouhamou, A. Rebahi, S. Mendil). In the Book *Methods in Reliability*", Proceedings of the International Conference **MMR**, July 2000, Vol. I, pp. 35 – 38., and Vol. I, 59 - 62 and Vol. 2, pp. 671 - 677.
- [5] Aïssani D., Aïssani D., *Tests et Lois Non paramétriques de Fiabilité*, Stage spécialisé à l'attention des secteurs utilisateurs, **E.M.P** (Ecole Militaire Polytechnique, ex: **ENITA**), Bordj-5 - 28 Mai 2003.

## Compte rendu de la journée d'étude Modèles de Fiabilité et Sciences de l'Ingénieur

Bordj-El-Bahri, le 15 Juin 1997

par Djamil Aïssani &  
Amar Aïssani\*

La Journée d'Etudes M.F.S.I.'2 (Modèles de Fiabilité et Sciences de l'Ingénieur), organisée par l'ENITA (Ecole Nationale des Ingénieurs et Techniciens d'Algérie) en collaboration avec les Comités M.F.S.I., s'est tenue à Bordj-El-Bahri le 15 Juin 1997. Plus de 150 congressistes, venus de différentes institutions universitaires, centres de recherches et organismes des secteurs industriels et socio-économiques, ont pris part à cette rencontre.

### Présentation

La fiabilité fait l'objet, ces dernières années d'un intérêt croissant, d'abord pour ses applications importantes en technologies industrielles, en analyse de survie, etc. D'autre part, elle connaît un développement théorique conséquent, en raison de son intérêt dans des problèmes de modélisation stochastique.

Une décennie après l'organisation de la Conférence Nationale M.F.S.I. (Béjaia, Mars 1988), l'importance du développement de la discipline en Algérie peut-être appréciée à travers la place qui lui a été consacrée dans plusieurs congrès spécialisés (aide à la décision, statistiques appliquées, recherche opérationnelle, etc...). Le principal objectif de cette journée d'étude était donc de faire le point sur les avancées récentes en la matière dans des axes déjà considérés (modèles stochastiques, fiabilité

mécanique, sûreté de fonctionnement des systèmes informatiques, fiabilité électrique, fiabilité humaine, fiabilité du logiciel, etc...) et d'aborder des axes d'avenir pour le Pays (sûreté nucléaire, etc...).

### Les conférences

La conférence inaugurale a été présentée par le Professeur D. Aïssani (Laboratoire de Recherches LAMOS, Béjaia). Après un bref aperçu des axes de recherches actuels à l'échelle mondiale, le conférencier a présenté les divers domaines abordés en Algérie depuis le début de la dynamique, qui a conduit en 1988 à l'organisation de la première manifestation scientifique en Algérie sur la fiabilité. Une synthèse des actions ayant conduit à la structuration d'une véritable école algérienne a été présentée. Le conférencier a notamment rappelé que dans son discours d'ouverture à la conférence M.F.S.I. en 1988, il avait précisé que le Pr. A. Ouabdess-Ellem (École Polytechnique) avait dès 1962 participé à l'une des premières manifestations internationales (la conférence Qualité et Fiabilité, Aix en Provence).

Conformément aux objectifs de contact entre recherche fondamentale et applications, une quinzaine d'exposés ont été présentés par des orateurs venant des divers centres de recherches algériens (École nationale Polytechnique d'Alger, Centre de développement des Systèmes Energétiques, Institut informatique de l'USTHB d'Alger, Université de Blida, Institut National de la Planification et de la Statistique, etc...). Ils

\* - Laboratoire de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes, Université de Béjaia : Département de Mathématiques, Université de Blida, Algérie.

ont mis en lumière plusieurs tendances modernes : évaluation de la disponibilité d'un système de sûreté, Distribution non paramétrique de fiabilité, approche Bayésienne à l'analyse de fiabilité, Application des Réseaux de Pétri stochastiques à l'analyse de fiabilité, etc...

#### Table ronde

La table ronde "maintenabilité, fiabilité et applications industrielles" a été animée par le Pr. N. Damou de l'Enita (Bordj-El-Bahri) et a vu la participation de nombreux ingénieurs des secteurs industriels et socio-économiques (Compagnie du pétrole Sonatrach, Entreprise Portuaire de Bejaia, Inelec, Engm, etc...). Parmi les aspects qui ont été abordés ; la nécessité de constitution de groupes de travail interdisciplinaires, la formation des interlocuteurs compétents chargés d'établir une passerelle entre les industriels et les universitaires, les difficultés spécifiques aux études de fiabilité dans les pays en voie de développement, les formations continues en milieu industriel et enfin la place de la fiabilité dans les formations d'ingénieurs. En particulier, il a été rappelé l'expérience de l'année 1986 qui avait débouché sur la formation de spécialistes spécifiques que nous avons appelés à l'époque ingénieurs fiabilistes. La réflexion ayant permis de cerner cette nouvelle catégorie de spécialistes avait fait l'objet d'un rapport, qui avait été publié trois ans plus tard par la "Revue

de Maintenance" du Ministère de l'Industrie Lourde. La table ronde s'est achevée après une démonstration de logiciels.

#### Conclusion

La présence à cette manifestation de maîtres, d'élèves et de collaborateurs permet aujourd'hui de constater l'instauration de traditions de fiabilité en Algérie. La formation de spécialistes qualifiés au niveau des différentes institutions réparties sur tout le territoire (Alger, Béjaia, Blida, Batna, Constantine, Boumerdès, etc...) permet de parler d'une véritable école algérienne de la fiabilité. La qualité des contributions et les publications internationales des chercheurs nationaux, ainsi que les sollicitations d'expertises et de participations, par des revues spécialisées et des Congrès internationaux de haut niveau, témoignent que cette école a aujourd'hui sa place et son rang dans le monde. Par ailleurs, la vitalité de cette dernière est bien illustrée par la manière dont la discipline est prise en considération à différents niveaux.

Les actes de cette journée d'étude feront l'objet d'une publication par les presses de l'Enita vers le mois de Juin 1998. Quelques exemplaires des Actes de la Conférence Nationale M.F.S.I. de 1988 sont encore disponibles. On peut se les procurer en écrivant à l'un des auteurs de ce compte rendu.



## Discussions techniques

Le 17 Mai 2001, le Laboratoire de Recherche *LAMOS Béjaïa* a reçu une lettre du Laboratoire *Leg Grenoble* (Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble, Ensieg - Inpg). Signée par le Professeur S. Bacha, elle concernait une proposition de collaboration dans le domaine de la fiabilité des composants électroniques de puissance et électromécaniques. Cette proposition a notamment été motivée par l'intérêt portée à trois articles du Laboratoire LAMOS, publiés dans le livre *Mathematical Methods in Reliability*, Bordeaux, July 2000, Vol. I, pp. 35 - 38; and Vol. I, pp. 59 - 62, and Vol. 2, pp. 671 - 674.

Une discussion technique a donc été initiée. Ci-joint les remarques formulées par Monsieur Pierrat Lambert du *Leg*, également consultant en fiabilité au *LPC* (voir annexe).

### a) Lettre de Monsieur Pierrat Lambert (Juin 2001):

Je travaille sur la fiabilité des composants électromécaniques. J'ai lu vos 3 articles *MMR'2000*. Ils sont intéressants par leurs aspects appliqués et me suggèrent les remarques suivantes :

#### 1) Vol. I, pp. 35 - 38 :

- Figure 2.1 : Comment interpréter la partie SP1 bis du diagramme (série ou parallèle)?
- Tableau 3.1 : Comment interpréter physiquement des Beta inférieurs à l'unité, c'est à dire une amélioration de fiabilité ?
- Figure 3.1 : Difficilement lisible ; la loi de fiabilité résultante qui passe par les croix semble correspondre à une Weibull dont le Beta est supérieur à l'unité ; si tel était le cas, ce serait incompatible avec les Beta du tableau 3.1 ?

#### 2) Vol. I, pp. 59 - 62:

- Figure 5.1 : citée dans le texte mais non reproduite;
- Figures 4.1 et 4.2 : Apparemment il s'agit de lois exponentielles, mais les valeurs des Lambda sont probablement dispersées ? dans le contexte observé, pouvez-vous justifier le caractère aléatoire de ce modèle ?

#### 3) Vol. 2, pp. 671- 674 :

- Dans Weibull, le paramètre de localisation pourrait se justifier par d'autres considérations que celles évoquées...
- Une usure ne correspond pas nécessairement à Beta supérieur à 3.4 ; cette notion erronée est reprise et propagée dans la littérature, sans justification (de même pour l'utilisateur du modèle de Weibull).
- Composant 780: il semble curieux que, pour le support du labyrinthe, un Beta de 1.54 ne puisse être confirmé IFR par le test PPT (effectif n trop faible?) .
- Tableau 1 : les Beta calculés sont compris entre 1.28 et 2.90 ; il est probable que les estimateurs de (eta, Beta) sont dispersés autour de ces valeurs.

#### 4) Commentaires généraux :

- Le choix d'une loi de fiabilité (et sa paramétrisation) détermine nettement son utilisation pour une optimisation technico – économique de la maintenance ;
- Choisir à priori une loi et l'identifier par des méthodes non paramétriques ou autres implique de justifier le modèle par des considérations physiques;
- La réalité observable comporte des incertitudes irréductibles et ceci se traduit par la dispersion des modèles et une limitation de leur pouvoir prédictif ; ceci contribue à amoindrir la validité des optimisations technico – économiques.

On pourrait en dire plus sur ce sujet, mais les messages E-mail ne sont pas adaptés à ce genre de discussion.

Bien cordialement,

Lambert Pierrat / LP Consultant



Lambert PIERRAT  
Consulting Engineer

No. Siret 420 038 333 0002 /  
Code APE 742C  
CCP: GRE 3 543 44 P

*Please send it only at this  
address :*

LP Consultant PO Box 5042  
38821 Grenoble, Cedex 2, France

**FIELD :** Engineering, Technical Studies

**ENTITLED :** Studies, consulting, expertise, assistance, training, translation

1. **Design, dimensioning, operation** of components and equipments, systems, electrotechnical devices (machines, transformers, apparatus) ; electromechanical and power electronics (drives) ; electrical networks (modelling, stability, power quality, EMC, protections...)  
Renewable energy (minihydro & wind power), fluid mechanics, thermal problems (cooling and ventilation) modelling and simulation, specific computer programmes.
2. **Reliability and risk analysis** : analysis and data interpretation of the feedback operation, generic and physico-mathematical modelling of the electromechanical component reliability ; behaviour forecast. Risk probabilistic analysis : frequency severity formulation, rare events and extreme risks. Uncertainty propagation inside models, measurement uncertainty calculation (metrology).
3. **Project assistance** : contractual clause formulation, test procedures and sanctions, standard references (European, IEC, ANSI, NEMA...). Analysis and interpretation of test results. Specific training to the customer place concerning the upper fields (French and English). Marketing and foreign contracts. Integrated service for technical translations and re-reading of texts assured by a linguist and an engineer (French and English) for technical papers, reports, presentation sheets, technical specifications, technico-economical argumentation, published books. Linguistic assistance at the customer place. Typing, computer assistance publishing, books and documents printing.

## Quelques précisions à vos remarques

(certaines concernent les textes. En effet, les restrictions de l'éditeur - 04 pages maximum par article - n'ont pas permis d'inclure tous les éléments nécessaires à la compréhension des textes)

### 1) MMR'2000, Tome 1, pp. 35 – 38 :

- Concernant la figure 2.1 : TPA est en série avec TPB. Le sous-système ainsi formé est en parallèle avec l'élément TPC et le sous système composé des trois éléments précédents est en série avec SPA et SPB.
- Concernant le tableau 3.1 :  $\beta < 1$  (amélioration de la fiabilité). Ceci est dû aux différentes actions de maintenance préventives effectuées sur les équipements (p. 76 du rapport interne). Voir également les explications théoriques : correspond à la période de jeunesse de la courbe en baignoire (taux de défaillance en fonctions du temps).
- Concernant la figure 3.1 : Elle représente la fiabilité des cinq variantes du fonctionnement du réseau de la figure 2.1 (voir pp. 29 – 36 du rapport interne) . Donc, il n'y a pas de contradiction avec les résultats du tableau 3.1 qui concernent les équipements.

### 2) MMR'2000, Tome 1, pp. 59 – 62 :

- Concernant la figure 5.1 : Elle figure dans le rapport interne.
- Concernant les figures 4.1 et 4.2 : ces figures représentent les fonctions de fiabilité et les taux de défaillance de 06 engins. L'ajustement par la loi exponentielle des fonctions de fiabilité de ces engins a été accepté, sauf pour l'engin Toy 10, dont l'ajustement s'est fait avec la loi de Weibull de paramètres  $\beta = 0,98$  et  $\lambda = 16,20$  (voir tableau 4.17, pp. 72 du rapport interne). Le caractère aléatoire de ce modèle est justifié par le fait que les pannes des engins sont dues à des problèmes mécaniques, hydrauliques, électriques,... (voir tableau 4.11, p. 64 ; tableau 4.12, p. 65 ; tableau 4.13, p. 66 ; tableau 4.14, p. 67, tableau 4.15 et 4.16, p. 68).



### 3) MMR'2000, Tome 2, pp. 671 – 674 :

\* *Concernant la justification du paramètre de localisation, nous pouvons rajouter ce qui suit :*

Si  $\gamma < 0$ , on peut dire que le matériel a subi une dégradation avant sa mise en service industrielle (usure lors des essais, du rodage ou problème de montage).

Si  $\gamma > 0$ , on peut dire que le matériel n'a commencé à se dégrader qu'à la date  $t = \gamma$ . Certains auteurs affirment que le  $\gamma$  négatif n'existe pas, c'est un mélange de populations et par manque de données, on a l'impression que  $\gamma$  est négatif. Donc le paramètre  $\gamma$  correspond à une simple translation de l'axe des temps.

\* *Concernant la relation entre la valeur de  $\beta$  et l'usure:*

Il a été établi que, lorsque  $\beta > 1$ , le taux de défaillance est croissant, ce qui correspond, pour les composants mécaniques, à des phénomènes progressifs (usure, fatigues,...). Cependant, une corrélation directe entre la valeur de  $\beta$  et un phénomène déterminé reste à vérifier. Bien que certains auteurs ont donné quelques indications ( $1 < \beta < 2,5$ , correspond à un phénomène de fatigue).

\* *Concernant le porte labyrinthe 780:*

Vu la non disponibilité de la table des valeurs critiques ??????????????????

\* *Concernant le tableau 1 (dispersion des estimateurs de  $\eta$  et  $\beta$ ):*

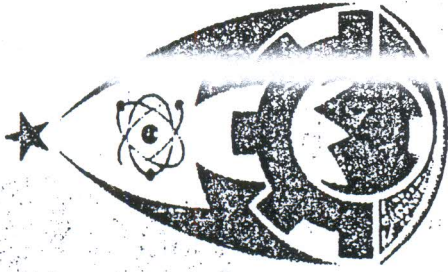
Notons que l'identification a été faite par la méthode mme pondérés, ce qui nécessite la linéarisation de la loi de Weibull par conséquent le biais engendré par cette dernière n'est que partiellement corrigé. Néanmoins, la validation a été confirmée par le test de Kolmogorov-Smirnov à un seuil de confiance de 5%.

\* *Concernant les commentaires généraux :*

Le choix à priori d'une loi implique effectivement la justification du modèle par des considérations physiques, ce qui est notre cas. En effet, tous les éléments étudiés sont des composants mécaniques (système d'étanchéité et paliers) dont le mode de dégradation, en général, est la fatigue ou l'usure, ce qui justifie le choix de la loi de Weibull.

Concernant la limitation du pouvoir prédictif des modèles: les données, utilisées pour l'ajustement de lois de fiabilité, ont été collectées sur sites industriels à l'état brut par conséquent, elles reflètent fidèlement le comportement réel en exploitation, prenant ainsi en compte tous les facteurs (surtout ceux qui sont difficiles à quantifier) pouvant influencer sur la fiabilité des équipements. Par ailleurs, les données doivent être validées par expertise avant tout traitement, afin d'écartier toute incertitude ou aberration.

# MINISTÈRE DE LA DÉFENSE NATIONALE ÉCOLE MILITAIRE POLYTECHNIQUE



L'ÉCOLE MILITAIRE POLYTECHNIQUE ORGANISE DES STAGES DE  
FORMATION CONTINUE ET DE PERFECTIONNEMENT DE COURTE DURÉE AU  
PROFIT DES CADRES EN ACTIVITÉ.

## LES DOMAINES DES TECHNOLOGIES ET DES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR CIBLES SONT :

- ▶ **L'Électricité**
  - ▶ Les Systèmes de communication – Le radar – Les antennes – La propagation des ondes et les faisceaux hertziens – La robotique – Le traitement d'images et de la parole – Les fibres optiques – Les microcontrôleurs – Les systèmes et la compatibilité électromagnétique.....
- ▶ **La Chimie**
  - ▶ Le génie des procédés – Les polymères – Les Méthodes d'analyses – L'électrochimie et la corrosion – La chimie macromoléculaire.....
- ▶ **La Mécanique**
  - ▶ La mécanique énergétique – La mécanique des fluides – La fatigue des matériaux – La commande numérique – Le DAO – Le contrôle non destructif par ultrasons – L'instrumentation et la métrologie dimensionnelle – L'aérodynamique – Les turbomachines.....
- ▶ **L'Informatique**
  - ▶ Les bases de données – Les systèmes d'information – L'aide à la décision – La recherche opérationnelle – La programmation – Les réseaux informatiques – Les images virtuelles et leur animation – Les automates programmables – Le management des projets.....

## Stages de l'année 2003

AUTOMATIQUE	
Les images infra rouge : Acquisition et applications	24-25/02/2003
Introduction aux Bus CAN, I2C et USB	13-16/04/2003
Analyse des signaux MF avec amplitude variable dans le temps	22-24/09/2003
Les bases de données et leur animation	27-29/09/2003

Techniques des antennes et propagation des ondes	10-12/01/2003
Initiation aux circuits imprimés	01-03/01/2003
Les techniques de modulation des signaux	02-03/01/2003
La C.A.O des circuits électroniques micro-ondes	27-30/01/2003
Les fibres optiques et leurs applications	19-22/01/2003
Le radar : théorie, techniques et applications	07-10/01/2003

'Systèmes asservis linéaires et régulation industrielle	22-24/09/2003
'Le traitement d'images et vision	05-08/10/2003
'Les techniques de commande moderne et d'identification	18-22/10/2003
'Nouvelles techniques de commande (Commande flou, Réseaux de neurones, Algorithmes génétiques)	11-15/10/2003
'Les microcontrôleurs 68HC11 et leur programmation	06-10/12/2003
'La reconnaissance des formes et ses applications	13-16/12/2003
<b>CONCEPTION &amp; FABRICATION MECANIQUE</b>	
'Initiation à la commande numérique	08-12/03/2003
'Le dessin assisté par ordinateur en 2D sous AUTO CAD	22-26/03/2003
'Le dessin assisté par ordinateur en 3D sous AUTO CAD	05-09/04/2003
'La transmission mécanique de puissance par engrenages	19-22/04/2003
'La programmation en Visual Basic - Application sous AUTO CAD	06-10/09/2003
'Initiation aux métaux en feuilles	28-30/09/2003
'L'usinage à grande vitesse	05-07/10/2003
'La métrologie dimensionnelle	25-27/10/2003
'Les procédés classiques en mécano soudure	01-03/12/2003
'Les procédés spéciaux en mécano soudure	14-16/12/2003
<b>CHIMIE APPLIQUEE</b>	
'La corrosion	09-11/03/2003
'Les méthodes spectrales d'analyse (FTIR, SAA, Photométrie de la flamme)	05-09/04/2003
'La chromatographie capillaire en phase gazeuse	14-16/04/2003
'La caractérisation des polymères par chromatographie en phase gazeuse (CPG, CPGI).	27-30/04/2003
'Les méthodes d'analyses thermiques	10-12/05/2003
'Les relations propriétés thermodynamiques - structure de la molécule à la prévision des équilibres de phases	18-21/05/2003
'La caractérisation physico-chimique des polymères	13-17/09/2003
<b>ELECTRONIQUE</b>	
'Les circuits intégrés digitaux et leurs applications	15-17/03/2003
'Les communications mobiles	16-19/03/2003
'Le fondement de l'optique par l'expérience	29-01/04/2003
'Initiation à l'électronique analogique	03-07/05/2003

✓ Un catalogue détaillant le contenu des stages, leur tarification ainsi que les conditions de participation est disponible sur demande.

✓ Des stages pouvant répondre à des besoins spécifiques et précis peuvent être définis et programmés à la demande.

Pour plus de détails ou d'informations complémentaires, n'hésitez pas à contacter:

Bureau de la formation continue et du perfectionnement :

BP 17 - Bordj El-Bahri - Alger - 16111

Tél. : 021 86 34 69 / 021 42 67 53

P. 429 & 365

Fax : 021 86 32 04

E-mail : [continus@ENP.edu.dz](mailto:continus@ENP.edu.dz)

'Le radar ; théorie, techniques et applications	07-10/12/2003
<b>ELECTROTHERMIQUE</b>	
'Les matériaux magnétiques pour l'industrie électrique	22-26/02/2003
'Les convertisseurs de l'électronique de puissance	08-12/03/2003
'La CAO des systèmes électromagnétiques	22-26/03/2003
'Les systèmes d'entraînements électriques	03-07/05/2003
'Les variateurs électroniques de vitesse	06-10/09/2003
<b>INFORMATIQUE</b>	
'La conception de systèmes d'information	22-26/03/2003
'Initiation à la recherche opérationnelle	29-31/03/2003
'Principe et conception de base de données relationnelles	13-16/04/2003
'La programmation orientée objet / C++	19-22/04/2003
'Introduction à la synthèse d'image et à l'animation de scènes virtuelles	21-23/04/2003
'Le management des projets	27-29/04/2003
'Les lois et tests non paramétriques de fiabilité	25-28/05/2003
'Introduction au langage MATLAB	26-28/05/2003
'Les automates programmables et le Grafcet	01-04/06/2003
'La méthodologie multicritère d'aide à la décision	01-04/06/2003
'La recherche opérationnelle comme outil d'aide à la décision.	14-15/09/2003
'Initiation aux réseaux informatiques	20-23/09/2003
'La simulation des systèmes de production manufacturiers	19-22/10/2003
<b>MECANIQUE APPLIQUEE</b>	
'L'analyse expérimentale des contraintes	29-31/03/2003
'Le comportement non-linéaire des structures	03-07/05/2003
'La métallurgie des poudres : Intérêts, propriétés et applications	17-19/05/2003
'L'acquisition et le traitement de mesures physiques par ordinateur.	19-21/05/2003
'Prédimensionnement des structures aéronautiques	24-28/05/2003
'Le contrôle non destructif par ultrasons	04-08/10/2003
'Fatigue des matériaux et des structures : Phénomènes, mécanismes et méthodes de calcul des pièces en fatigue	12-15/10/2003
'La méthode des éléments finis en calcul des structures.	26-28/10/2003

<b>Objectif :</b> Ce stage a pour but de présenter les principales lois et tests non paramétriques, ainsi que leurs utilisation en milieu industriel et socio-économique					
<b>Public concerné</b>		<b>Pré-requis</b>			
Ingénieurs, post-grad. en Technologie et Science de l'Ingénieur		Notions de base de Probabilités et Statistiques			
<b>Niveau</b>	<b>Sessions</b>	<b>Durée</b>	<b>Début</b>	<b>Fin</b>	<b>Volume horaire</b>
?	II	4 jours	Dim 9 H.	Mer. 16 H.	24 Heures
<b>Dates des sessions</b>		<b>Répartition du volume horaire</b>			
?		20H. de cours, 4H. de TP			
<b>Contenu du programme</b>					
<p>Dans les études de traitement des données du retour d'expérience, l'approche traditionnelle (utilisation des lois paramétriques : exponentielle, Weibull, Gamma,...) ne permet pas de faire face aux problèmes rencontrés en fiabilité et en analyse de survie, liés au manque de données (échantillon de petite taille), aux données censurées, ainsi qu'au choix de la loi adéquate sur la base d'un échantillon statistique. C'est pourquoi on a actuellement recours (gestion des stocks, ordonnancement,...) aux distributions non paramétriques de survie, dites de vieillissement.</p>					
<b>1 Préliminaires</b>					
1.1 Intérêt des lois et tests non paramétriques					
1.2 Notions de statistique : Statistique d'ordre, statistique de rang, U-statistique, données censurées					
1.3 Notions de Fiabilité : Durée de vie, fiabilité, durée de survie, taux de défaillance, temps moyens, TTT-transformée, le graphe-TTT et la TTT-statistique					
1.4 Les principales lois de probabilité : Loi Exponentielle, Normale, Gamma, Weibull, Pareto, Makeham et loi à taux de défaillance linéaire					
<b>2 Distributions non paramétriques de fiabilité</b>					
2.1 Distribution à taux de défaillance croissant (IFR)					
2.2 Distribution à taux de défaillance croissant en moyenne (IFRA)					
2.3 Distribution nouveau meilleur qu'usagé (NBU)					
2.4 Distribution nouveau meilleur qu'usagé en moyenne (NBUE)					
2.5 Autres distributions					
<b>3 Tests non paramétriques</b>					
3.1 Tests pour la loi IFR					
3.2 Tests pour la loi IFRA					
3.3 Tests pour la loi NBU					
3.4 Tests pour la loi NBUE					
<b>4 Présentation de logiciels</b>					
Outil d'aide à la décision pour les praticiens qui soit facile à manipuler, qui permet de tester l'appartenance d'une distribution à une classe de vieillissement et qui permet l'exploitation de la puissance de calcul de l'outil informatique					
<b>5 Applications (cas réels industriels : systèmes mécaniques et électriques)</b>					
5.1 Calcul de la fiabilité et de la disponibilité des stations de pompage du pipé-line Haoud-el-Hanra - Béjaïa					
5.2 Optimisation de la Maintenance dans la raffinerie de pétrole de Skikda					
5.3 Analyse du retour d'expérience du parc d'engins du Port de Béjaïa					
5.4 Analyse des défauts d'un réseau de distribution Electrique MT					

## Recommandations générales

Les universitaires, chercheurs, ingénieurs et industriels sont invités à communiquer les résultats de leurs travaux.

Il est recommandé de présenter les articles dans le format IEEE.

La langue de référence est l'anglais. L'arabe et le français sont aussi acceptés avec l'obligation de faire apparaître un résumé de l'article en anglais.

L'article doit être envoyé en trois exemplaires afin de le soumettre à l'évaluation de plusieurs lecteurs. L'auteur est prié de transmettre une fiche de renseignements mentionnant obligatoirement son affiliation, son adresse postale, son e-mail et son fax (les fax de kiosques multiservices sont indésirables).

L'accueil des participants débutera à partir de 14h le 1<sup>er</sup> décembre 2003 à l'USTO. La cérémonie d'ouverture de la conférence et la séance plénière auront lieu ce même jour en après midi.

Les matinées des 2 et 3 décembre seront consacrées aux conférences orales. L'après midi du 2 décembre sera réservée aux expositions et aux posters, et l'après midi du 3 décembre sera organisée une excursion touristique.

## Oran

Les marins Andalous ont fondé la ville d'Oran en 937 après JC dans un site préhistorique connu sous le nom d'IFRI les cavernes. Oran, en arabe Wahran, tire son nom du mot Wahr qui signifie lion et de son d'Oran (deux lions). Les deux lions symbolisent aujourd'hui la ville.

Oran prospère sous le règne des Zianides et a été soumise à l'occupation espagnole de 1509 à 1708 pour être ensuite prise par les forces ottomanes. Les espagnols la reprennent deux années après jusqu'en 1790, année où une très grande partie de la ville sera détruite par un séisme. Les armées coloniales françaises l'occupèrent en 1831.

De nombreuses constructions témoignent de ces différentes occupations mais c'est l'influence européenne qui prédomine.

Oran est aujourd'hui une des plus grandes villes d'Algérie tant sur le plan économique que touristique et culturel. Depuis 1962, Oran s'est développée et est devenue une métropole commerciale et résidentielle.

Ville universitaire, Oran compte plusieurs universités dont l'Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf.



Sous le Haut Patronage de  
Monsieur le Ministre  
de l'Enseignement Supérieur et de  
la Recherche Scientifique

5<sup>ème</sup> Conférence Nationale  
sur la Haute Tensio

CNHT'2003

2<sup>ème</sup> ANNONCE

Appel aux Communications

Oran

01-03 Décembre 2003

## Objectifs

C'est la cinquième Conférence Nationale qui s'organise faisant suite à celles organisées à Bejaia (1995), Tizi-Ouzou (1997), Guelma (1999) et Ghardaïa (2002).

Il est souhaité à travers l'organisation de ces conférences de pérenniser un forum national d'échanges d'expériences sur les technologies de la haute tension, de rapprocher et susciter une synergie entre professionnels, fabricants et industriels d'une part, chercheurs et universitaires d'autre part. Nous avons espoir que des entreprises et laboratoires étrangers participent à ce forum.

## Thèmes de la Conférence

Les thèmes de la conférence se rapportent à tous les domaines de la Technique de la Haute Tension :

1. Isolants, techniques de l'isolation et coordination de l'isolement
2. Mesure, techniques d'essai et qualité de la haute tension
3. Matériels et équipements haute tension.
4. Champ électromagnétique : calcul, mesure et effet sur l'environnement
5. Détection et diagnostic de la dégradation de l'isolation (vieillessement, rupture)
6. Systèmes intelligents dans l'ingénierie de la haute tension

## Dates Importantes

Date limite de réception de l'article	31 mars 2003
Notification d'acceptation	30 juin 2003
Date de réception de l'article final	30 sept 2003
Confirmation de participation	01 nov 2003

## Comité d'Organisation

A. CHERIFI	I.U.T. Mantes (F)
M.K. FELLAH	U.D.L.S.B-Abbes (DZ)
Z. FLISOWSKI	T.U.W. Varsovie(PL)
A. GOLDMAN	L.P.G.P.- CNRS (F)
M. GOLDMAN	L.P.G.P.- CNRS (F)
A. HADDAD	U. Cardiff (GB)
D. MAHI	U.A.T., Laghouat (DZ)
M. MEGHERBI	U.M.M. T.Ouzou (DZ)
A. MEKHALDI	E.N.P. Alger (DZ)
M. MEKIDECHE	C.U. Jijel (DZ)
Y. MESLEM	U.I.K., Tiaret, (DZ)
H. MOULAI	U.S.T.H.B. Alger (DZ)
M. NEDJAR	U.M.M., T.Ouzou (DZ)
M. NEMAMCHA	C.U. Guelma (DZ)
L. SAHRAOUI	E.M.P.B. El-Bahri (DZ)
M. SAIDI	U.S.T.H.B. Alger (DZ)
A. SAKER	Schneider M.G. (F)
B. SENOUCI	L.P.G.P.- CNRS (F)
C.TALHI	U.P.S., Toulouse (F)
Y. ZEBBOUDJ	U.A.M. Béjaïa (DZ)

## Comité Scientifique

<b>Président</b>	USTMBO
S. FLAZI	USTMBO
<b>Secrétaire</b>	ARELEC/SONELGAZ
Z. KHLIAT	ARELEC/SONELGAZ
<b>Membres</b>	ARELEC/ENP
A. MIDOUN	SONELGAZ/ORAN
F. TALEB	USTMBO
M.GHEZAILI	USTMBO
F. KHADRI	USTMBO
A. BOUBAKEUR	USTMBO
M. SOUKER	USTMBO
H. HADI	USTMBO
A. BOUDINAR	USTMBO
M. CHALI	USTMBO
H. BOUGHRASSA	USTMBO

### Président :

Z. AZZOUZ  
USTMB Oran

### Comité scientifique de l'établissement

S. FLAZI  
USTMB Oran  
H. HADI  
USTMB Oran  
A. SETTAOUTI  
USTMB Oran  
M. TIOURSI  
USTMB Oran  
A. TAIEB BRAHIMI  
USTMB Oran  
A. HENNAD  
USTMB Oran  
A. BELARBI  
USTMB Oran

### Comité scientifique hors établissement

M. ABDELLAH  
E.M.P.B. El-Bahri (DZ)  
D. AISSANI  
U.A.M. Bejaia (DZ)  
R. AZOUAOU  
U.M.M. T.Ouzou (DZ)  
B. BELMADANI  
C.U.Chlef (DZ)  
M. BENDAOU  
U.S.T.H.B. Alger (DZ)  
A. BEROUAL  
E.C. Lyon (F)  
S. BOUZABIA  
U.S.T.H.B. Alger (DZ)  
A. BOUBAKEUR  
E.N.P. Alger (DZ)  
R. BOUDISSA  
U.A.M. Bejaia (DZ)  
A. BUI  
U.P.S. Toulouse (F)  
F. BURET  
E.C. Lyon (F)

**Secrétariat de la conférence CNHT'2003**  
U.S.T.M.B., Faculté de Génie Electrique

B.P. 1505,  
31 000 Oran El M'Naouar  
ALGERIE

Email : [cnht2003@yahoo.fr](mailto:cnht2003@yahoo.fr)  
Tél./fax: 00 213 (0) 41 42 55 09

Président de la conférence

Dr S. FLAZI

U.S.T.M.B., Faculté de Génie Electrique  
Laboratoire Haute Tension  
Email : [cnht2003@yahoo.fr](mailto:cnht2003@yahoo.fr)  
Tél./fax: 00 213 (0) 41 42 55 09

*LAMOS Editions, Février 2003*

### **Résumé :**

Les problèmes posés par la planification et l'exploitation des réseaux électriques sont très complexes. Le choix d'une configuration de réseau et son équipement doit prendre en compte aussi bien les conditions techniques que les contraintes économiques. C'est pourquoi une analyse de fiabilité devient indispensable. Elle détecte les cas de défaillance entraînant une détérioration de l'état d'exploitation et détermine les mesures à prendre afin de maintenir le réseaux dans un état normal.

Les textes regroupés dans cet ouvrage présentent quelques résultats d'un Programme de Recherche Développement (1988 – 2002) ayant abouti à la proposition d'une méthodologie scientifique globale d'évaluation de la Fiabilité des Systèmes Electro- Energétiques (protection, recherche des défauts, étude statistique, répartition de puissance, prévisions, restructuration, optimisation automatisée, étude technico – économique,...).

**Référence :** *Lamos Editions*, Février 2003, 121 pages.

### **L'Auteur :**

Coordonnateur des Comités Nationaux *M.F.S.I. (Modèles de Fiabilité et Sciences de l'Ingénieur)*, le Professeur Djamil AÏSSANI assure depuis plusieurs années le cours de *Fiabilité Electrique* au niveau de la Post-Graduation en Electrotechnique de l'Université de Béjaïa. Président du Conseil Scientifique de l'Institut d'Electrotechnique – Béjaïa (1991 et 1992), il a contribué, avec ses élèves et ses collaborateurs et dans le cadre de conventions avec la Compagnie Algérienne de l'Electricité *Sonelgaz*, à la fondation et à la structuration du Groupe de Travail Spécialisé *FSE2 (Fiabilité des Systèmes Electro – Energétiques)*.