

NTILIKWENDERA Jotham
C/O ELECTROGAZ STATION
B.P. 537 KIGALI.

Kigali, 15 DEC. 1989

Ku 2/2/80

M. Planif

Son Excellence Monsieur le Président
de la République Rwandaise
KIGALI.

A traiter par
Date entrée : 29-12-89
N° Classement : 26963/89

Sous Couvert de Monsieur le Ministre
des Travaux Publics, de l'Energie
et de l'Eau
KIGALI



Sous Couvert de Monsieur le Président
du Conseil d'Administration d'ELECTROGAZ
KIGALI.



Objet: Rapport de Mission.-

Excellence Monsieur le Président,

J'ai l'honneur de transmettre à Votre
Excellence le rapport d'un Séminaire International "HAUT ENSEIGNEMENT"
sur le Fonctionnement des Réseaux d'Energie Electrique organisé à Paris
(FRANCE) du 13 au 24 Novembre 1989 par l'Electricité de France (EDF)
International.

Seize délégués de Dix pays représentant
des Sociétés ou Ministères ayant l'Electricité dans leurs attributions
y participaient. L'objectif de ce Séminaire était de présenter aux
participants les différents aspects du fonctionnement des réseaux
électriques en régime normal et perturbé ainsi que les moyens d'étude
de ces phénomènes.

La mission m'a été très bénéfique d'au-
tant plus qu'elle m'a permis l'échange de vues avec des personnalités
des autres Sociétés qui sont chaque jour confrontées aux problèmes de
transport et de distribution d'énergie électrique.

Vous en souhaitant bonne réception,
je Vous prie de bien vouloir agréer, Excellence Monsieur le Président,
l'assurance de ma très haute considération.

Copie pour information à:

NTILIKWENDERA Jotham,

- Monsieur le Ministre des Affaires
Etrangères et de la Coopération
Internationale
KIGALI.

Chef de Station Kigali.

- Monsieur le Chef de Service
Technique Electricité
d'ELECTROGAZ
KIGALI.

INTRODUCTION

L'ELECTRICITE DE FRANCE (EDF) est un Etablissement Public de Production, de Transport et de Distribution d'Electricité en France. EDF International est une branche de l'Electricité de France chargée d'assurer et de promouvoir ses relations avec d'autres Sociétés ou Services de par le monde ayant l'Electricité dans leurs attributions.

EDF International organise chaque année des Séminaires "HAUT ENSEIGNEMENT" auxquels participent des agents cadres des Services à vocation de produire, transporter et distribuer l'Electricité dans leurs pays respectifs.

Du 13 au 24 Novembre 1989, cette Entreprise a organisé à Paris un Séminaire sur le FONCTIONNEMENT DES RESEAUX ELECTRIQUES auquel ont participé seize délégués de dix pays d'Afrique, d'Europe, d'Asie et d'Amérique Latine.

L'ouverture du Séminaire a eu lieu le 13 Novembre 1989 à 10 h00 dans la Salle de Conférence de l'Immeuble de l'E.D.F. International par une allocution de circonstance de Monsieur Jean Paul Barret, Chef des études Internationales au Service Etudes de Réseaux de la Direction des Etudes et Recherches assisté de Madame Françoise DENOYELLE, Ingénieur-Chercheur au Bureau des Affaires Internationales du Service Etudes de Réseaux (DER) et de Monsieur François Cavallier et Madame J. CRESPIN, tous deux du Service de la Communication et des Relations Extérieures.

Au cours du Séminaire, les thèmes suivants ont été abordés et dont je vais vous parler brièvement au cours de mon exposé:

- Etudes de fonctionnement des réseaux et des alternateurs;
 - Calculs de repartition, de la puissance et des courants de courts-circuits;
 - Tenue et réglage de la tension; Compensation de la puissance réactive (condensateur, serie)
 - Tenue et réglage de la fréquence (Equilibre entre Production-Consommation);
 - Stabilité: - Stabilité statique,
- Stabilité transitoire,
- Moyen d'améliorer la stabilité;
 - Les protections contre les courts-circuits et contre les fonctionnements anormaux d'un élément ou d'une partie du réseau;
- Enfin la coordination d'isolement.

ETUDES DE FONCTIONNEMENT

I. GENERALITES:

Les études de fonctionnement se posent à tous les stades de développement et d'exploitation du réseau, de choix et de dimensionnements des matériels.

Au niveau de la planification:

A partir d'une évolution de la consommation, la planification a pour rôle de choisir les équipements à mettre en oeuvre et leur mode de gestion optimale pour satisfaire au mieux cette consommation sur une grande période de temps.

Satisfaire au mieux veut dire au moindre coût et avec une qualité de service satisfaisante.

Objet des études de fonctionnement:

Ces études de fonctionnement permettent de vérifier que le comportement du réseau ainsi planifié est satisfaisant aussi bien en régime de fonctionnement normal, c'est-à-dire lorsque le réseau est soumis aux fluctuations "normales" des charges qu'il alimente, que lorsqu'il est soumis à des perturbations importantes.

Par perturbations importantes on entend principalement des courts-circuits, des déclenchements d'ouvrages, des pertes de groupes...

A la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, on utilise, pour effectuer les études de réseaux, des modèles numériques ainsi que des modèles analogiques.

C'est ainsi que certaines études de fonctionnement dynamique ou d'analyse transitoire sont menées:

- soit par des programmes purement numériques traités par ordinateurs,
- soit sur des modèles physiques: MICRORESEAU et modèle à courant continu dans lesquels sont représentés à échelle réduite, les appareils constitutifs du réseau.

Les études de fonctionnement ont pour objet d'analyser le comportement du réseau aussi bien en régime de fonctionnement normal qu'en régime perturbé.

Elles sont nécessaires à tous les niveaux des études de réseaux: planification, gestion, exploitation, conduite. Elles sont également indispensables pour concevoir les matériels et vérifier qu'ils sont aptes à remplir au sein du réseau, les fonctions auxquelles ils sont destinés.

Deux grands types de moyens sont mis en oeuvre pour réaliser les études de fonctionnement:

- des systèmes physiques genre MICRORESEAUX, qui sont des modèles réduits de réseau,
- des programmes de calcul numérique exploités sur ordinateurs.

Les études de fonctionnements sont variées et complexes.

Il n'est pas possible de les traiter à l'aide d'un programme unique. Il existe donc de nombreux logiciels adaptés aux divers problèmes à résoudre.

CALCULS DE REPARTITION

Un calcul de répartition permet de déterminer les tensions complexes en chaque sommet d'un réseau et par suite de trouver la répartition des transits sur l'ensemble des lignes du réseau, de façon que les équations de KIRCHHOFF soient satisfaites pour des valeurs données des bilans de puissances actives et réactives en certains sommets, compte tenu de contraintes portant sur les modules de tension ou sur les bilans de puissance réactive.

Equations du réseau:

Le réseau est constitué de n sommets électriques et de liaisons, chaque liaison entre deux sommets du réseau est représentée par un schéma en π dont l'impédance série est: $Z_{ik} = e^{j\theta_{ik}}$ et l'admittance en dérivation côté i : $y_{ik} = g_{ik} + jh_{ik}; j^2 = -1$.

La tension complexe au sommet i est notée $V_i e^{j\theta_i}$

L'expression des transits de puissance sur les liaisons et les lois de conservation de l'énergie permettent d'écrire les équations du réseau:

$$I \left\{ \begin{aligned} P_i = \varphi_i(\theta, V) &= V_i^2 \sum_{KE(i)} \left(\frac{\cos \alpha_{ik}}{Z_{ik}} + g_{ik} \right) - V_i \sum_{KE(i)} \frac{V_k}{Z_{ik}} \cos(\alpha_{ik} + \theta_i - \theta_k) \\ Q_i = \psi_i(\psi, V) &= V_i^2 \sum_{KE(2)} \left(\frac{\sin \alpha_{ik}}{Z_{ik}} - h_{ik} \right) - V_i \sum_{KE(i)} \frac{V_k}{Z_{ik}} \sin(\alpha_{ik} + \theta_i - \theta_k) \end{aligned} \right.$$

α_i : ensemble des sommets raccordés au sommet i

P_i : injection de puissance active au sommet i

Q_i : injection de puissance réactive au sommet i .

Les équations (I) constituent un système d'équations non linéaires que l'on résout classiquement par une méthode de Newton.

Le système de production -transport d'électricité doit être capable de revenir à un état d'équilibre satisfaisant lorsqu'un incident se produit. Pour y parvenir, on l'a muni de plusieurs systèmes régulateurs automatiques dont les champs d'actions et temps de réponse sont différents, en particulier les réglages primaires et secondaires:

- les réglages primaires de vitesse et de tension sont installés dans les Centrales; ce sont des réglages locaux rapides fondamentaux chargés de maintenir constantes fréquence et tension autant que faire se peut,
- les réglages secondaires de fréquence-puissance et de tension sont installés dans les dispatchings; ce sont des réglages centralisés, plus lents, chargés de corriger la première action indispensable des réglages locaux pour aboutir à une meilleure situation d'ensemble.

Que se passe-t-il lors d'un incident comme la perte d'un groupe de production ou d'une ligne?

Des phénomènes électro-mécaniques complexes d'interaction entre groupes de production, réseau et charges; ils sont corrigés (ou perturbés) par le fonctionnement des régulations, automates et protections.

CALCULS DE COURTS-CIRCUITS

On appelle court-circuit tout incident provoqué soit par un contact entre un conducteur et la terre, soit entre conducteurs. Un tel incident provoque l'apparition d'un courant de défaut qui peut-être important ayant comme origines électriques (altération d'un isolant), atmosphériques (foudre, tempête, givre), mécaniques (chute d'un corps sur une ligne) et les fausses manoeuvres.

Les courts-circuits sont de types:

- monophasé
 - biphasé
 - biphasé à la terre
 - triphasé symétrique
- } courts-circuits dissymétriques

Un calcul de courant de court-circuit se ramène toujours à une résolution de systèmes linéaires.

Pour chaque configuration de défaut, on doit obtenir le plan de tension préexistant et certains éléments des matrices

Suivant le type de défaut étudié et le type de résultats recherchés, plusieurs techniques sont possibles. D'une manière générale la procédure est la suivante:

- a) Calcul des valeurs avant prise en compte des défauts,
- b) Prise en compte des défauts

EQUILIBRE PRODUCTION-CONSUMMATION (Tenue de la fréquence)

Le réglage de la fréquence est en fait un contrôle du bilan production-consommation selon trois niveaux:

- 1° Niveau local (réglage primaire de fréquence ou de vitesse) qui permet avec des mesures effectuées aux bornes des groupes de réagir rapidement (y compris face à de grands transitoires). L'aspect sécurité est primordial.
- 2° Un premier niveau centralisé (réglage secondaire), automatique mais plus lent, qui permet d'affiner le travail effectué par le réglage primaire, dans une certaine limite (en particulier sous l'aspect du respect des contrats d'échange avec les réseaux voisins).
- 3° Un deuxième niveau centralisé (réglage tertiaire), pas forcément automatique, qui corrige les programmes prédéterminés des groupes lorsque ceux-ci s'écartent de la situation réelle. L'automatisation de ce dernier niveau est possible: les critères économiques, la prise en compte des contraintes de transits dans le réseau ou des contraintes sur les groupes (fatigue ou contraintes à longues constantes de temps du nucléaire) sont des aspects importants.

Cependant, face à une consommation malgré tout en partie aléatoire et compte tenu de l'apparition possible de phénomènes affectant profondément le fonctionnement du réseau (courts-circuits, pertes d'ouvrages ou de groupes...) un aspect fondamental reste la capacité des groupes à répondre aux sollicitations afin de pouvoir ajuster à tout instant la production à la consommation tout en maintenant la fréquence dans une bande étroite de quelques pour cent de sa valeur normale.

TENUE ET REGLAGE DE LA TENSION:

La tension en un point du réseau est très sensible à la topologie du réseau et aux transits, notamment aux transits de puissance réactive. La tension peut aussi être affectée par les incidents du réseau (courts-circuits, défauts d'isolement).

Du point de vue temporel, on voit apparaître deux types prépondérants de variations:

- des régimes lentement variables, correspondant à l'évolution naturelle de la charge,
- des régimes rapidement variables d'origines très diverses: fluctuations rapides régulières ou aléatoires de la charge appelée, changements de topologie, fonctionnement de protections et d'automatismes, démarrage ou arrêt de groupes de production.

Malgré les différents phénomènes susceptibles de l'affecter, la tension doit être maintenue, en tout point du réseau à très haute tension, à l'intérieur d'une plage admissible bien définie:

- la limite de la tension haute est imposée par la tenue des matériels (tenue des diélectriques ou souci d'éviter le vieillissement accéléré) ou leur domaine de fonctionnement correct,
- la limite de tension basse provient essentiellement de contraintes de sécurité: il convient d'éviter la surcharge des lignes et des transformateurs, de maintenir les sources auxiliaires des centrales à l'intérieur de leur domaine de fonctionnement, d'éviter le franchissement du seuil (tension critique) pouvant conduire à l'effondrement du réseau (notion de puissance maximale admissible).

Sur le réseau Très Haute Tension (THT) français, les plages de tension correspondants sont les suivantes:

- entre 380 et 420 KV pour le réseau dit "400 KV",
- entre 210 et 245 KV pour le réseau 220 KV.

En fait, le réseau est plutôt exploité à tension haute lorsque cela est possible, à la fois dans un souci de sécurité et d'économie.

Pour les réseaux de distribution, la tension doit être maintenue dans une bande plus étroite en valeur relative (quelques %). De fait, les besoins de réglage étant très différents sur les réseaux de transport et de distribution, il convient d'assurer une relative indépendance de ces réseaux, ce qui peut être assuré par des schémas adéquats utilisant des régleurs en charge.

Pour régler la tension, l'intérêt est dans l'ajustement de la compensation de puissance réactive, qui peut être réalisé en grande partie par des moyens de compensation statique. Cette compensation est imparfaite, surtout en régime dynamique, et doit être complétée par des moyens plus rapides et plus fins. Les alternateurs sont un moyen très efficace pour fixer et régler la tension aux points du réseau où ils sont raccordés.

Pendant le Séminaire nous avons vu comment réaliser la compensation de l'énergie réactive sur les réseaux de distribution et sur les réseaux de transport par des condensateurs shunt, qui doivent être répartis de façon optimale, en cherchant à minimiser les transits de puissance réactive entre les réseaux de transport et de distribution, par les batteries de condensateurs shunt placées dans les postes THT ou HT, qui seront mises en service selon les besoins, par inductances et/ou par les compensateurs synchrones.

Egalement, le réglage de la tension se fait au niveau des réseaux de distribution à moyenne tension, des réseaux de répartition à haute tension et des réseaux de transport à très haute tension.

On constate qu'il y a un "découplage" des besoins entre les réseaux de transport et de distribution. Cela justifie l'implantation de moyens de réglage de la tension entre ces deux types de réseaux. Ces moyens, constitués de régleurs en charge sur les transformateurs permettront de maintenir constante la tension de distribution quels que soient les écarts de tension du réseau de transport.

En général, entre les réseaux de transport à THT et les réseaux de distribution à MT, il existe des réseaux dits de répartition à HT. On peut répartir l'effort de réglage entre les transformateurs THT/HT et HT/MT.

.../...

STABILITE

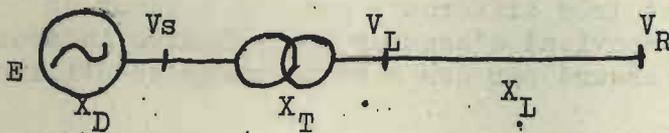
I. STABILITE STATIQUE:

Les réseaux de transport d'Electricité peuvent être affectés, au cours de leur fonctionnement, d'un certain nombre de perturbations:

- perturbations de faible amplitude principalement dues aux variations aléatoires de charges,
- courts-circuits affectant un élément du réseau,
- perte d'ouvrage induisant des reports de charge et un affaiblissement du réseau;
- perte de groupes.

Dans une première étape, nous considérons un alternateur raccordé par une ligne à un jeu de barres d'un réseau suffisamment puissant pour que la tension V_R puisse être considérée comme constante en amplitude et en phase.

Fig. 1:



E : tension électromotrice

V_S : tension stator

V_L : tension ligne

X_D : réactance synchronone

X_T : réactance transformateur

X_L : réactance ligne

V_R : tension de borne

Une machine synchrone fonctionne en état d'équilibre si toutes les grandeurs mécaniques et électriques qui caractérisent son fonctionnement sont constantes. L'étude de la Stabilité de ce groupe consistera à rechercher ses états d'équilibre possibles et à déterminer si, après avoir été écarté de son équilibre par une perturbation, il pourra retrouver son équilibre antérieur ou le quittera définitivement.

Dans l'étude de la Stabilité des machines synchrones, c'est le mouvement relatif du rotor par rapport au champ tournant imposé par le réseau qui est examiné, et les deux aspects de la Stabilité sont à considérer:

- Stabilité statique relative aux petits mouvements,
- Stabilité transitoire relative aux mouvements de grande amplitude.

En ce qui concerne la Stabilité statique, les perturbations considérées sont toujours de faible amplitude, que ce soient des variations de consigne de régulateurs, des variations de régime pour les machines, ou des manoeuvres réseau sur des lignes éloignées du groupe étudié. Dans ces conditions, on considère que la vitesse de l'arbre est constante et que les grandeurs électriques varient de manière linéaire autour de leurs valeurs d'équilibre. L'objectif visé consiste à ce que la machine s'éloigne peu de son état antérieur et que ses oscillations s'amortissent le plus rapidement possible. En cas d'instabilité Statique, on distinguera une instabilité statique apériodique et une instabilité statique oscillatoire, selon que l'instabilité se manifeste par une variation apériodique des grandeurs de fonctionnement, ou par des oscillations avec un amortissement négatif.

De manière générale, on fait en sorte que la Stabilité statique ne soit pas une contrainte pour l'exploitant de réseaux. Cependant, des contraintes peuvent apparaître, quand des groupes de forte puissance implantés sur des sites éloignés des zones consommatrices sont raccordés aux réseaux. Dans ces conditions, différentes méthodes sont proposées pour amortir les oscillations électromécaniques du système. La technique consistant à introduire des signaux stabilisateurs dans le régulateur de tension des alternateurs est largement utilisée. Il convient de noter que la structure du régulateur de tension à quatre boucles est issue de travaux relatifs à des méthodes de commande adaptative. En tout état de cause, le choix de la structure du régulateur de tension et des paramètres de réglage repose sur une modélisation précise des alternateurs et de leur système d'excitation. En outre, l'amélioration de la stabilité statique dans un domaine fréquentiel assez large, incluant les modes propres des unités de production et les modes inter-zones, implique souvent des compromis lors du choix des paramètres de réglage. Pour ce faire, une méthode basée sur l'analyse fréquentielle ou une méthode reposant sur la recherche des valeurs propres et vecteurs propres caractérisant le système, permettent de déceler, en temps différé, des situations où des problèmes de stabilité statique peuvent apparaître, et rendent possible l'adoption de solution éliminant ces problèmes.

2. STABILITE TRANSITOIRE:

Les réseaux électriques peuvent être soumis à deux formes d'instabilité:

- les pertes de synchronisme entre machines synchrones (caractérisées par des glissements de pôles),
- le décrochage des moteurs asynchrones.

La perte de synchronisme entre machines synchrones recouvre deux domaines:

- l'instabilité statique,
- l'instabilité transitoire

Comme nous l'avons vu précédemment, la stabilité statique s'agit de l'aptitude qu'a le système à garder le synchronisme lorsqu'il est sollicité par des perturbations de faible amplitude.

La stabilité transitoire peut être définie comme l'aptitude qu'a le système à garder le synchronisme lorsqu'il est soumis à des variations brusques et de forte amplitude, par exemple:

- enclenchement d'une charge importante,
- modification de topologie du réseau (débouclage par exemple),
- perte d'ouvrages de transport ou de groupes de production,
- défaut affectant le réseau de transport.

Heureusement, si toutes ces variations brusques sont du ressort de la stabilité transitoire, peu d'entre elles occasionnent des répercussions; par contre, si la probabilité d'occurrence d'incidents est faible, les risques encourus sont graves (cela peut aller jusqu'à l'effondrement complet du réseau). Les problèmes de stabilité requièrent donc une attention toute particulière.

Les exploitants de réseau sont donc, à juste titre, désireux de connaître l'état de stabilité du réseau. Les études de stabilité deviennent alors très vite monstrueuses, puisque les défauts peuvent être de divers types, survenir en n'importe quel point du réseau, et les résultats sont fonction du plan de production des groupes, ainsi que du plan de tension pré-existant.

Ces études sont en outre de grande complexité et nécessitent une grande finesse dans la représentation des différents composants du système si l'on veut observer le comportement du système sur des temps relativement longs.

Les études de stabilité transitoire requièrent donc l'emploi de calculateurs et de programmes sophistiqués. Pour appréhender la nature des phénomènes physiques mis en jeu, il est commode de reprendre le raisonnement à la base en utilisant des modèles simplifiés. Il s'agit par exemple d'un groupe raccordé par une ou plusieurs lignes à un réseau infini, ce qui signifie que la tension en ce point reste constante en module et phase quoiqu'il advienne. On considère également que les variations de vitesse du rotor sont faibles vis-à-vis de la période du réseau; en conséquence, on admet que la fréquence dans les lignes ou le transformateur est constante. Ceci permet de déduire les paramètres des turbo-alternateurs (ou des groupes hydrauliques) influençant la stabilité transitoire.

Le calcul en régime transitoire se fait par une méthode de calcul "pas à pas". Le procédé consiste sur un pas de calcul (de l'ordre de la milliseconde) à calculer les grandeurs à variation rapide (courants, tensions et puissances aux bornes) à partir de grandeurs à variations lente (couple mécanique, vitesse de rotation, flux dans les matériaux ferromagnétiques).

Les différentes machines sont reliées entre elles par la matrice du réseau. Il y a donc des itérations successives pour déterminer les grandeurs à variation rapide de différentes machines.

A la fin du pas de calcul, la convergence des itérations est alors obtenue, les grandeurs lentement variables sont mises à jour par l'intermédiaire de leur dérivée.

PROTECTION CONTRE LES COURTS-CIRCUITS ET DEFAUTS D'ISOLEMENT.

Les défauts susceptibles d'affecter les différents ouvrages du réseau constituent la principale cause d'interruption de la fourniture d'énergie électrique.

Un défaut a pour conséquence, dans la très grande majorité des cas, l'apparition d'un courant de court-circuit qui doit être éliminé par la mise hors tension de l'ouvrage défectueux.

Les causes de défauts sont de deux catégories:

- origine externe,
- origine interne.

Dans le premier cas, il s'agit de causes naturelles ou accidentelles, indépendantes du réseau; dans le second cas, au contraire, les défauts ont pour origine le réseau lui-même, une avarie de matériels par exemple ou les fausses manoeuvres qui peuvent avoir pour origine une défaillance matériel ou humaine.

Un défaut peut être fugitif ou permanent selon qu'il n'a pas provoqué d'avarie de matériel, car après un isolement de courte durée, l'ouvrage considéré peut être remis en service ou s'il y a eu avarie, le matériel défectueux doit être réparé ou remplacé.

Enfin, en ce qui concerne la forme d'un défaut, celui-ci peut être:

- monophasé: entre une phase et la terre ou la masse,
- biphasé: entre deux phases, avec ou sans mise à la terre,
- triphasé: entre les trois phases.

Sur les réseaux THT et HT, où une part importante des courts-circuits sont monophasés fugitifs, il est très intéressant de pouvoir pratiquer le déclenchement - réenclenchement monophasé, qui permet l'élimination des défauts affectant une seule phase, sans répercussion majeure sur la stabilité des machines et la continuité de service.

La protection des lignes THT et HT peut être assurée soit par des équipements n'utilisant que des grandeurs locales (courants et tensions issus des réducteurs de mesure) avec éventuellement, une liaison de téléaction (ordres "tout" ou "rien") entre les extrémités de la ligne, soit par des équipements comparant les grandeurs, en général les courants, des deux (ou trois) extrémités de la ligne considérée; dans ce dernier cas, une liaison de télécommunication adaptée est évidemment nécessaire.

Les protections propres aux transformateurs ou autotransformateurs sont les suivantes:

- la protection Buchholz : il s'agit d'un détecteur placé dans la tuyauterie reliant la cuve du transformateur au conservateur d'huile; ce détecteur est sensible au dégagement gazeux (alarme) et au mouvement d'huile (déclenchement) qui sont consécutifs à un défaut interne,
- la protection de cuve: la cuve, isolée du sol, est reliée à la terre à travers un transformateur de courant qui alimente un relais ampèremétrique instantané; tout amorçage entre la cuve et une partie sous ~~xxx~~ tension est détecté, y compris le cas d'un contournement de borne; seul le défaut triphasé symétrique, extrêmement rare, n'est pas détecté.

Le principe de protection des réseaux à MT dépend très fortement de deux facteurs principaux:

- la structure du réseau (maillé ou radial),
- le mode de mise à la terre des neutres des transformateurs HT/MT ou THT/MT (neutre isolé, bobine de Petersen, neutre mis à la terre par une impédance de limitation du courant).

Les protections utilisées sont des protections ampèremétriques comprenant:

- deux relais instantanés à maximum de courant de phase pour les défauts polyphasés,
- un relais instantané à maximum de courant résiduel (somme vectorielle des courants des trois phases) pour les défauts à la terre,
- un relais temporisé commandé par les relais précédents,
- des relais homopolaires à temps inverse.

PROTECTION CONTRE LES FONCTIONNEMENTS ANORMAUX DU RESEAU.

Outre les courts-circuits, qui doivent être éliminés par des dispositifs de protection particuliers, d'autres événements peuvent affecter le fonctionnement des réseaux:

- surcharges d'ouvrages,
- insuffisance soudaine de production,
- perte de synchronisme.

Pour protéger contre les surcharges des lignes et des transformateurs, on utilise:

- la protection par image thermique
- la protection par relais à maximum de courant.

En fonctionnement normal, pour faire face aux aléas de production ou de consommation, le réseau dispose de réserves tournantes, c'est-à-dire que la puissance installée globale des générateurs mis en service est supérieure à la charge prévue.

Un accroissement de consommation, en augmentant le couple résistant sur les générateurs, tend à les ralentir. Le réglage primaire puis le réglage secondaire vont corriger l'écart de fréquence qui en résulte. Les variations de fréquence provoquées par les déséquilibres que l'on rencontre généralement en exploitation sont extrêmement faibles et il n'en résulte pratiquement aucun inconvénient pour les usagers.

A la suite d'un incident, il peut se faire qu'une région plus ou moins étendue soit en déficit de moyens de production entraînant des surcharges de lignes ou de transformateurs, la fréquence gardant sa valeur nominale. Ces surcharges peuvent provoquer des déclenchements d'ouvrages. Elles sont dues à l'afflux d'énergie venant des régions voisines que la mise en oeuvre des réserves tournantes locales ne permet pas d'éliminer.

On peut alors réduire la consommation dans la région en déficit par la réduction de la tension distribuée et par délestages de consommation.

Lorsque le réseau se trouve brutalement en déficit global de production, la fréquence va diminuer rapidement et on pourrait arriver à l'arrêt complet de tous les générateurs si aucune action correctrice n'était entreprise. On dispose de deux moyens pour limiter les conséquences d'un tel incident: le délestage automatique et l'flotage.

Les pertes de synchronisme peuvent apparaître à la suite d'un changement de topologie du réseau (perte de stabilité statique) d'un court-circuit sévère (perte de stabilité transitoire), ou intervenir lors d'un grand incident où apparaissent également d'importantes pertes de production et des phénomènes d'écroulement de tension.

Pour lutter contre la perte de synchronisme, on utilise des relais de protection situés au niveau des groupes, et provoquant le déclenchement de l'alternateur après un certain nombre de tours électriques; ou parfois de relais de pertes de synchronisme (comptant les battements de tension ou basés sur des relais de protection de distance) qui provoquent l'flotage de régions.

Egalement, la compensation série constitue un moyen efficace d'améliorer la souplesse et la sécurité de fonctionnement d'un réseau.

COORDINATION DE L'ISOLEMENT.

La coordination des isolements a pour but la spécification des divers matériels utilisés dans une installation donnée. La coordination des isolements englobe la relation de la tenue diélectrique des matériels et sa mise en oeuvre, en fonction des tensions (ou surtensions) qui peuvent apparaître dans le réseau auquel ces matériels sont destinés et compte tenu des caractéristiques des dispositifs de protection disponibles (en général éclateurs ou parafoudres).

Elle vise à réduire à un niveau acceptable du point de vue de l'économie et de celui de l'exploitation, la probabilité que les contraintes diélectriques résultantes imposées aux matériels causent des dommages aux isolations des matériels ou affectent la continuité du service.

CONCLUSION

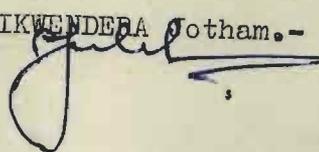
Le Séminaire m'a été très bénéfique parce qu'il m'a donné l'occasion de prendre contacts avec des personnalités de différentes Sociétés d'Electricité qui sont confrontées aux problèmes de distribution d'énergie électrique, notamment les courts-circuits et les fonctionnements anormaux.

Particulièrement, j'attire l'attention sur le fait que l'intérêt et l'importance économique d'interconnecter des réseaux exploités séparément sont plus à prouver. Ces interconnexions améliorent la sécurité de l'alimentation, permettent l'assistance réciproque en cas de défaillance, ce qui signifie une réduction de la capacité totale de production de réseau et une optimisation de la gestion du fonctionnement des différents types de centrales électriques. Les avantages de la coopération sont d'autant plus évident quand un réseau comportant des centrales hydro-électriques est interconnecté avec un réseau alimenté par des centrales thermiques ou lorsqu'on peut tirer parti des différences entre les heures de charge maximale de deux réseaux. Le Rwanda, à l'instar des pays européens, devrait étendre sa politique de bon voisinage et de coopération en interconnectant son réseau électrique avec ceux des pays de notre région; comme il l'a amorcé avec le Zaïre et le Burundi dans le cadre de la CEPGL.

Fait à Kigali, le 15 DEC. 1989

LE CHEF DE STATION KIGALI,

NTILIKWENDEBA Jotham.-



LES PARTICIPANTS:

<u>NOMS ET PRENOMS</u>	<u>SOCIETES</u>	<u>PAYS</u>
I. Mr. BOAVENTURA	E.N.E.	ANGOLA
2. Mr. MARTINS AMOR BELO	E.N.E.	ANGOLA
3. Mr. SHAKER HASSAN MOHAMMED	MINISTRY OF WORK, POWERAND WATER	BAHRAIN
4. Mr. DE OLIVEIRA	ELECTRONORTE	BRESIL
5. Mr. AJAY KUMAR JAIN		INDIA
6. Mr. BANDYOPADHYAK PARTHA PRATIM	EREB	INDIA
7. Mr. KVR CHAITANYA SWAMY		INDIA
8. Mr. SIKDAR MANOJ	NORTHERN REGIONAL ELECTRICITY BOARD	INDIA
9. Mr. SUBRAMANIAN VISWANATHAN		INDIA
10. Mr. AMOURA FATHI	JODAN ELECTRICITY AUTORITY	JORDANIE
11. Mr. MOHAMMED ABDULLAH	MINISTRY OF ELECTRICITY AND WATER	KOWAIT
12. Mr. GEORGES MOAWAD	ELECTRICITE DU LIBAN	LIBAN
13. Mr. AHARDANE LAAZIZ	R.A.I.D. TANGER	MAROC
14. Mr. NTELIKWENDERA JOTHAM	ELECTROGAZ	RWANDA
15. Mr. MARTEIJN PATRICK	DOW BENELUX	PAYS-BAS
16. Mr. DE WISPALAERE	DCW BENELUX	PAYS-BAS

Jean-Paul BARRET

Ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Electricité
Licencié en Sciences Mathématiques
Chef des Etudes Internationales au Service Etudes de Réseaux de la
Direction des Etudes et Recherches (DER)

Françoise DENOYELLE

Ingénieur de l'Ecole Polytechnique Féminine
Ingénieur-chercheur au Bureau des Affaires Internationales du
Service Etudes de Réseaux (DER)

Gérard PIOGER

Ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Electricité
Licencié en Sciences Mathématiques
Chef du Bureau des Affaires Internationales au Service Etudes de
Réseaux (DER)

Christian LEMAITRE

Ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Electricité
Ingénieur-chercheur au Département Méthodes d'Optimisation et de
Simulation du Service Etudes de Réseaux (DER)

Ivan BERTHET

Ingénieur de l'Ecole d'Electricité et de Mécanique de Nancy
Docteur en Sciences Automatiques
Ingénieur - chercheur au Département Méthodes d'Optimisation et de
Simulation du Service Etudes de Réseaux (DER)

Jean-Michel TESSERON

Ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Electricité
Chef du Département Fonctionnement des Réseaux, Conduire et
Automatismes du Service Etudes de Réseaux (DER)

Richard BENEJEAN

Docteur du 3ème cycle en Sciences Mathématiques
Ingénieur - chercheur au Département Fonctionnement des Réseaux,
Conduite et Automatismes du Service Etudes de Réseaux (DER)

Philippe JUSTON

Ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Electricité
Ingénieur - chercheur au Département Fonctionnement des Réseaux,
Conduite et Automatismes du Service Etudes de Réseaux (DER)

Gilles DUBOC

Ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Electricité
Ingénieur - chercheur, responsable du Microréseau au Département
Fonctionnement des Réseaux, Conduite et Automatismes du Service
Etudes des Réseaux (DER)

Paul MARTIN

Ingénieur de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines
Docteur en Sciences Mathématiques
Ingénieur - chercheur au Bureau des Affaires Internationales du
Service Etudes de Réseaux (DER)

Guy TRICOCHÉ

Ingénieur issu des Ecoles EDF
Ingénieur au Département Fonctionnement des Réseaux, Conduite
et Automatismes au Service Etudes des Réseaux (DER)

Bernard DUCHENE

Ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Electricité
Chef de la Subdivision Emploi des Moyens de Contrôle au
Département Exploitation du Service du Transport d'Energie à la
DPT

Marc TROTIGNON

Ingénieur de l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures
Ingénieur-chercheur au Département Fonctionnement des Réseaux,
Conduite et Automatismes du Service Etudes de Réseaux (DER)

Philippe ADAM

Ingénieur de l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures
Chef de groupe au Département Machines Electriques du Service
Matériel Electrique (DER)

Jean-Pierre TALSNE

Ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Electricité
Ingénieur-chercheur au Département Machines Electriques du
Service Matériel Electrique (DER)

Michel RIOUAL

Ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Electricité
Ingénieur-chercheur au Département Postes et Lignes du Service
Matériel Electrique (DER)

Jean-Maurice SEVESTRE

Ingénieur issu des Ecoles EDF
Diplômé de Certificats du Conservatoire National des Arts et
Métiers
Ingénieur d'exploitation au Service Exploitation du Centre
National des Mouvements d'Energie (CNME) de la Direction de la
Production et du Transport (DPT)

Jean-François LESIGNE

Ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Electricité
Ingénieur à la Division Fonctionnement Dynamique des Réseaux
du CNME (DPT)

.../...

Pierre MÉYNAUD

Ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Electricité
Licencié en Sciences Mathématiques
Conseiller scientifique au Service Etudes de Réseaux (DER)

Jean-Yves LEOST

Ingénieur de l'Ecole Centrale de Lyon
Ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Electricité
Chef du groupe "Qualité de la Tension" au Département Comptage
Clientèle au Service Etudes de Réseaux (DER)

Claude COUNAN

Ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Electricité
Chef du groupe Stabilité et Protection des Réseaux au Service
Etudes de Réseaux (DER)