Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 64 (1973)

Heft: 8

Rubrik: CIGRE (Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à haute tension) : Session de 1972

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

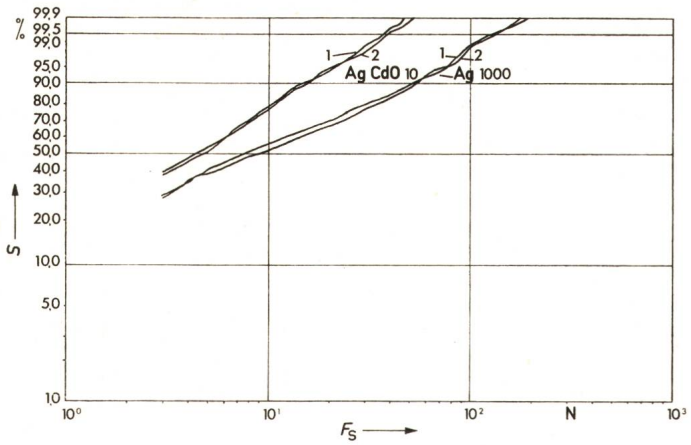

Fig. 5
Summenhäufigkeit S der Schweisskraft F_S von Ag 1000 und AgCdO 10 bei einer Kontaktkraft von F_S = 29,4 N
1 erste Messreihe; *2* zweite Messreihe

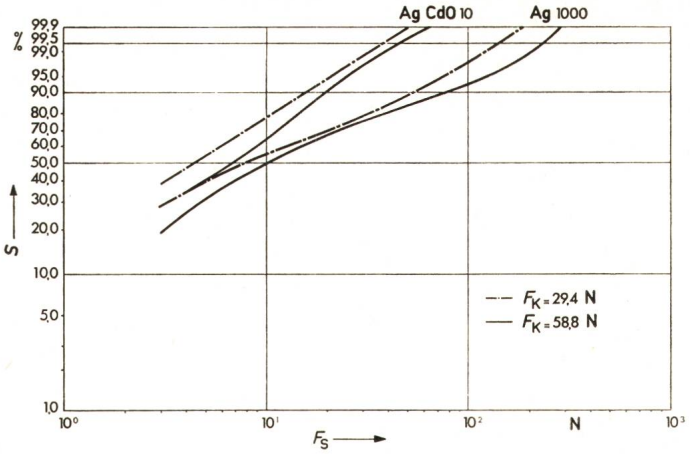

Fig. 6
Mittlere Summenhäufigkeit S der Schweisskraft F_S von Ag 1000 und AgCdO 10 bei den Kontaktkräften F_K = 58,8 N und F_K = 29,4 N

häufigkeitskurven bei der kleineren Kontaktkraft auch zu kleineren Schweisskraftwerten hin verschoben sind. Die $F_{S99,9}$-Werte von Ag 1000 unterscheiden sich um den Faktor 0,66 und die von AgCdO 10 um den Faktor 0,77.

Man kann auf Grund der Konstruktion der Schalteinheit des Prüfschalters voraussetzen, dass zwischen der kinetischen Energie des beweglichen Kontaktstückes und der Kontaktkraft ein Zusammenhang besteht, denn die Prellabhebungen erfolgen gegen die Kontaktkraftfeder. Beim Zusammentreffen der Kontaktstücke werden Oberflächenbereiche verformt, und zwar um so stärker, je grösser die Kontaktkraft ist. Die genannten Unterschiede in den Schweisskraftverteilungen können daher auf die unterschiedlich starke Berührung der Schmelzbereiche auf den Kontaktstückoberflächen nach Beendigung des Prellvorganges zurückgeführt werden.

Literatur

[1] *W. Haufe* u. a.: Einfluss der Schaltzahl und Polarität des Prüfstromes auf die Statistik der Schweisskraftwerte von Reinsilber bei synchronem und unsynchronem Schliessen der Kontaktstücke. Bull. SEV 63(1972)9, S. 461...467.

[2] *E. Geldner* u. a.: Prüfschalter zur Messung der Schweisskraft von Kontaktwerkstoffen für die Starkstromtechnik. ETZ-A 92(1971)11, S. 637...642.

[3] *E. Walczuk:* Über den Einfluss der Energie der Prellichtbögen auf das Verschweissen von Kontakten. E und M 87(1970)4, S. 197...203.

[4] *W. Haufe:* Modelluntersuchungen zur statistischen Verteilung der Schweisskraftwerte von Reinsilber. Bull. SEV 63(1972)18, S. 1033...1036.

Adresse der Autoren:
Wolfgang Haufe, Werner Reichel, Horst Schreiner und *Reinhard Tusche,* Zentrale Fertigungsaufgaben der Siemens AG, Postfach 2449, D-8500 Nürnberg.

CIGRE (Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à haute tension) Session de 1972

Wir geben nachfolgend als Übersicht über die an der CIGRE-Session 1972 in Paris gehaltenen Podiumsdiskussionen die Zusammenfassungen, welche jeweils durch die Sekretäre der Studienkomitees als erste Orientierung verfasst werden.

Eine sehr gute, umfassende Übersicht kann aus den «Rapports généraux» gewonnen werden, welche im Publikationsorgan der CIGRE, der Zeitschrift ELECTRA, in seiner Nr. 25 vom Dezember 1972, Seiten 67 ff. enthalten sind. Diese Übersichten werden von den «Rapporteurs spéciaux» selber verfasst.

Der integrale Bericht über die Session, der auch die vorher eingereichten Berichte und jeden Beitrag anlässlich der Diskussionen enthält, wird nächstens als «Compte-rendu de la Session 1972» erscheinen und kann entweder direkt bei der CIGRE in Paris oder beim SEV bestellt werden.

Nous publions ci-après les compte-rendus que les secrétaires des Comités d'Etudes établissent après les discussions en tant que première orientation sur la Session 1972 de la CIGRE à Paris.

Un très bon résumé, qui contient beaucoup plus de détails, est publié dans l'ELECTRA, nº 25 du mois de décembre 1972, pages 67 ff. Ce sont les rapports généraux établis par les rapporteurs spéciaux eux-mêmes.

Le compte-rendu intégral sur toute la Session qui va paraître prochainement contiendra – à part les rapport publiés avant la session – toutes les contributions faites lors des sessions. Le «compte-rendu de la session 1972» peut être commandé soit directement auprès de la CIGRE à Paris, soit auprès de l'Association Suisse des Electriciens.

Groupe 11 – Machines tournantes

Après ouverture de la Séance par le Président Glebov, M. Ruelle présente les grandes lignes de son Rapport Spécial, établi sur la base des 3 sujets préférentiels qui vont être abordés ci-dessous:

1. Conditions anormales de fonctionnement des grands turbo-alternateurs et hydrogénérateurs, ainsi que des groupes moteurs-générateurs des stations de pompage.

Le Rapporteur Spécial fait, avant d'ouvrir la discussion, la remarque suivante:

La plupart des incidents récents survenus sur les grands générateurs synchrones ont été constatés en marche normale et non lors de régimes anormaux. Le temps est donc peut-être venue de clore ce problème des régimes anormaux et la discussion d'aujourd'hui permettra peut-être d'arriver à ce résultat.

1.1. La discussion s'engage sur les questions 1 à 6 en premier lieu.

a) De nombreux orateurs se succèdent à la tribune pour examiner les avantages et inconvénients que peut présenter pour le matériel et les réseaux une marche asynchrone contrôlée des grands générateurs (questions 1 à 4.).

Il ressort de cette discussion que la marche asynchrone contrôlée, qui peut être envisagée dans les deux situations suivantes «absorption de puissance réactive ou maintien de l'alternateur couplé au réseau en cas d'avarie sur le système d'excitation» peut être caractérisée par les avantages et inconvénients principaux suivants:

– *avantages:* permet de conserver l'alternateur sur le réseau en cas d'avarie sur le système d'excitation et d'absorber de l'énergie réactive (incidence sur l'équipement éventuel en compensateur synchrone).

– Méthode simple et très efficace pour absorber des valeurs importantes de puissance réactive, la charge active étant réduite aux environs de 30 à 40 % de S_N.

– *inconvénients:* – absence de contrôle indépendant des énergies active et réactive.

– Chute de tension sur le réseau et fluctuations de tension d'amplitude importante.

– Stabilité dynamique précaire.

– Contraintes en couple pulsatoire et en échauffement stator pouvant être préoccupantes, en particulier par leurs effets à long terme, ces dernières étant cependant fonction de la technologie des machines et des limitations imposées sur la charge active.

L'importance des inconvénients présentés font qu'en France, en Pologne, en Roumanie et aux Etats-Unis le fonctionnement asynchrone volontaire n'est pas pratiqué. En France et en Roumanie, la fonction absorption de puissance réactive est assurée par fonctionnement sans excité synchrone des alternateurs. En Angleterre, la marche asynchrone n'est pas non plus pratiquée, cette dernière étant considérée comme un moyen éventuel supplémentaire pouvant être mis en œuvre dans l'avenir. Seule l'URSS fait état d'intéressantes expériences de marche asynchrone effectuées sur des unités, essentiellement hydrauliques, de puissance atteignant 590 MVA pour pallier à des défauts d'excitation et pendant des durées limitées. Les travaux effectués sur cette question ont cependant un grand intérêt dans le domaine des méthodes d'établissement des schémas équivalents des machines, ainsi que pour le choix des emplacements des organes de contrôles des contraintes appliquées en régime anormal sur les matériels (mesures d'induction et de température).

b) En matière de rationalisation des systèmes de protection des alternateurs (question 5), les auteurs du rapport 11-05 précisent les bases d'établissement des schémas bloc de protection dont les caractéristiques et fonctions sont réexaminées en ce qui concerne les fonctionnements en surcharge et en surexcitation.

Sont ensuite présentés les principes de conception des organes de contrôle et protection utilisés en France et à EdF sur les alternateurs (définitions de régimes associés à des domaines de variations des grandeurs de la machine: régimes normal, exceptionnel, accidentiel, ces régimes étant contrôlés d'une part par les régulations et les limitations associées et d'autre part par des protections agissant en alarme – information – ou en déclenchement – ilotage ou déclenchement total). Des valeurs numériques caractéristiques sont fournies sur ce sujet.

Le problème de la rationalisation est en Angleterre une affaire qui concerne chaque utilisateur, les éventuelles spécifications sur ces dispositifs devant tenir compte des possibilités et utilisations des machines.

En URSS, on insiste sur l'importance pouvant être jouée dans le domaine général des protections par les fonctions de limitation associées aux organes de réglage (excitation).

c) La question 6 appelle quelques interventions:

En URSS, on utilise généralement des protections basées sur des mesures d'angle éléctrique ou d'oscillations des grandeurs courant d'excitation et puissances. Les protections utilisant l'angle polaire sont associées à des relais à temps constant ou à des éléments de comptage lorsqu'une intervention rapide est souhaitée.

Cette position est partagée en France par EdF, mais des travaux sont encore à poursuivre pour mettre au point une protection sélective utilisable pour toutes les formes de fonctionnement hors synchronisme.

1.2. Les questions 7, 8, et 9 relatives aux groupes réversibles pour stations de pompage donnent lieu aux interventions suivantes:

a) Contraintes de démarrage en démarrage direct – Exemples de réalisation: Des exemples des réalisations anciennes de machines à pôles massifs à démarrage direct avec une valeur importante d'énergie surfacique sont indiqués ($4{,}5 \cdot 10^7$ J/m² en Suisse et $5 \cdot 10^7$ J/m² en France).

Sur la base des comparaisons faites en tribune entre les technologies retenues pour les groupes de Vianden (230 MVA) et Revin (200 MVA) il ressort que le choix de la technique à pôles massifs est viable pour des énergies de l'ordre de $4 \cdot 10^7$ J/m² et que le rotor piscine se trouve justifié pour les valeurs supérieures d'énergie (cas de Revin = démarrage lourd avec roue noyée conduisant à une énergie surfacique de 7 à $8 \cdot 10^7$ J/m²). Par ailleurs, des indications sont données sur les raisons du choix technico-économique de la constante d'inertie élevée retenue pour Revin. Il est à noter sur ce sujet que le choix de la valeur de ce paramètre doit être fait en collaboration étroite avec les Hydraulicières.

Une intéressante proposition est faite concernant un procédé de démarrage direct par modification selon le régime de vitesse des polarités de l'enroulement stator des groupes à démarrer.

Il est également fait état de l'effet bénéfique du choix de configurations particulières pour les bases amortisseurs des rotors.

En ce qui concerne les contraintes en chute de tension, lors des démarrages directs sur les réseaux THT et HT, il est indiqué que la valeur maximale admissible de façon générale en France est de 5 % des valeurs de 10 % pouvant exceptionnellement être admises en fonction de la structure des réseaux.

b) Procédés de démarrage.

Le démarrage asynchrone direct lorsqu'il est possible est reconnu par tout le monde comme le plus pratique et le plus économique. Cependant, le lancement par moteur PONEY est parfois intéressant. Sur le plan économique l'utilisation de convertisseurs statiques est selon un représentant suédois plus intéressant que la solution avec moteur Poney, ainsi que pour les groupes de puissance supérieure à 200 MVA, le démarrage à tension réduite.

2. Les grands turbo-alternateurs à quatre pôles pour centrales nucléaires.

2.1. Réalisation des rotors (question 10)

Une certaine confiance est donnée par les constructeurs américains et certains européens aux nouvelles techniques de réalisation des pièces de forge monobloc (en particulier procédés de coulage A. P.) qui permettent d'obtenir des pièces saines dont le tonnage pourra atteindre prochainement 280 t (masse ébauchée), ce qui permettrait de réaliser des machines de 2500 MVA, 4 pôles à 50 Hz. Au-delà le passage aux techniques polybloc pourrait être envisagé.

Pour ce qui concerne les actuelles techniques polybloc, les problèmes de vibrations, qui ont été rencontrés dans les rotors bipolaires, sont maîtrisés. Un constructeur suisse indique que plus de 300 rotors polybloc, dont un pour une machine 60 Hz, bipolaire de 333 MVA, ont été livrés par sa société depuis 40 ans.

Selon lui cette technique permet d'estimer à 4100 MW pour 50 Hz et 2700 MW pour 60 Hz les puissances maximales réalisables en 4 pôles, du seul point de vue de la mécanique du rotor. Par ailleurs, la technique des rotors soudés est maintenant utilisable pour les turbo-alternateurs.

2.2. Technique de refroidissement du rotor.

La position des différents constructeurs proposant des technologies alternatives pour le refroidissement des rotors (gaz ou eau) n'a pas changé depuis la session de 1970.

2.3. Questions 12 et 13

Peu d'interventions sont faites sur ces sujets. Les problèmes posés par décalages des enroulements stator des grandes machines sont considérés comme des questions importantes, mais difficiles à traiter et aucune règle générale ne semble permettre de

caractériser ce problème. Une information concernant une machine de 1480 MVA 1500 t/mn est donnée: la majoration maximale des forces appliquées sur les barres stator de cette machine est de 21 % par rapport aux forces existant dans une machine 722 MVA à 3600 t/mn; ce qui permet de dire que le problème bien qu'important n'est pas encore très préoccupant; il n'en sera pas de même pour les machines plus puissantes.

De toute façon les constructeurs désireront vérifier la tenue des calages des machines dans les premières 10 000 heures de fonctionnement des groupes.

Ce point est remis en question par un exploitant qui indique l'importance et l'urgence qu'il y a à préciser les caractéristiques de ce problème, afin de pouvoir espérer une bonne disponibilité pour les grandes machines et éviter les interventions pour contrôle systématique des calages, en cours d'exploitation.

Il est indiqué ensuite qu'en France des études ont permis de juger comme admissibles, du point de vue de la stabilité des réseaux, des valeurs de réactance transitaire de 55 % (valeur non-saturée) pour les grands turboalternateurs.

3. Grands moteurs et compensateurs synchrones.

3.1. Question 14 et 15

a) Des exemples de grands compensateurs mis en œuvre dans le monde sont fournis par des constructeurs suédois et français. (Compensateur de fabrication suédoise de 345 MVA entièrement refroidi par liquide et présentant un coëfficient d'utilisation de 1 Tonne/MVA.) Il semble que pour le moment l'utilisation de ces grandes machines ne soit envisagée que pour les réseaux comportant de longs transports (USA, URSS, Canada) et également en Suède; Cependant leur utilisation est envisagée parfois en URSS pour des transports d'energie sur courte distance. Dans ce pays, l'intérêt économique des grands compensateurs vis-à-vis des possibilités offertes par les alternateurs est difficile à apprécier, à la condition que les cosφ de ces derniers ne soient pas inférieurs à 0,90.

Un exploitant de réseau français indique ensuite que pour des réseaux maillés, sans longs transports, comme celui de la France, la pratique en matière de réglage de l'énergie réactive consiste à compenser partiellement les besoins en réactif à l'aide de condensateurs au niveau de la consommation, la partie réglable étant laissée à la charge des alternateurs (fourniture ou absorption). Il est souhaité que cette optique se maintienne avec les grandes unités: seuls des avantages économiques nouveaux ou des problèmes technologiques pourraient venir modifier cette position en faveur des compensateurs synchrones. En Belgique, il est indiqué que la tendance en matière de réglage d'énergie réactive va aux systèmes statiques (autosaturables et condensateurs).

b) Sur le plan particulier de la protection des systèmes redresseurs pour ensemble d'excitation contre les surtensions dynamiques ou à fréquence industrielle (démarrage asynchrone), deux interventions sont faites:

Il est fait état de réalisations françaises mettant en œuvre, en dehors des résistances de protection branchées en permanence en parallèle sur les ponts redresseurs, des systèmes d'insertion automatique de résistances à commande par thyristors, et également de systèmes à résistances non linéaires (coefficient de variation de résistance 1 à 200), équipant chacun des redresseurs du pont d'une roue à diodes pour alternateurs «bulbe».

En URSS, on rappelle que des réalisations à ponts doubles inversés sont souvent mis en œuvre pour assurer la protection des éléments redresseurs contre les surtensions, le dimensionnement du pont non passant en régime normal étant plus faible que celui du point fournissant la puissance normale d'excitation. Il est également fait état de systèmes de protection à éclateurs stabilisés et à thyrites.

3.2. Examen de la question 16 du Rapport Spécial.

«Machines bizarres» – (Strange machines). Plusieurs communications sont faites concernant ce sujet. Elles concernent respectivement:

– les alternateurs de type DWR ou à excitation dans les deux axes du rotor: un délégué anglais indique que la machine de 500 MW en construction devrait être remise en service dans neuf mois (Pu = 500 MW), un léger retard ayant été apporté en raison de difficultés dans la réalisation d'un des enroulements.

Deux autres orateurs évoquent les problèmes et avantages présentés par ces systèmes et souhaitent qu'un groupe de travail CIGRE soit constitué pour examiner ces techniques.

Une expérimentation anglaise portant sur des sytèmes d'excitation à diodes et à thyristors tournants (sans bague ni balai) en vue de l'équipement d'un groupe deux pôles de 600 MWA.

– Des prototypes de machines «synchrones – desynchronisées».

Des essais effectués en URSS ont porté sur une machine 1000 kW à rotor triphasé et deux grands hydrogénérateurs sont en cours d'essai.

Un délégué des Etats-Unis présente des renseignements constructifs sur un stator sans fer à haut facteur d'utilisation, destiné à un modèle d'alternateur à inducteur tournant supraconducteur et il indique l'intérêt qui peut découler pour l'avenir de telles machines, en souhaitant que celles-ci puissent bientôt sortir du cadre des «machines bizarres».

Il est fait état des résultats d'études et d'éxpériences effectuées en URSS sur des machines synchrones à stator à haute tension. Un modèle d'hydrogénérateur de 45 MVA, tension stator 103 kV est décrit. Celui-ci, en service près de Moscou depuis 1969, fonctionne correctement. L'enroulement stator constitué par une structure en «câble» est refroidi directement par huile et peut être réalisé en 1 ou 2 couches. Des études sont en cours en URSS sur des machines à tension nominale stator 220 kV.

Groupe 12 – Transformateurs

Problèmes d'échauffement

La plupart des orateurs sont en faveur du refroidissement par circulation dirigée de l'huile, au moins pour les transformateurs de grande puissance (transformateurs triphasés de puissance supérieure à 200 MVA). L'écoulement de l'huile y est contrôlé, donc les diverses températures de l'huile sont plus aisément calculables, et l'on peut en déduire avec une précision raisonnable la température du point chaud des enroulements.

Par contre, l'intérêt économique de ce mode de refroidissement est contesté, en dehors de cas particuliers où l'on cherche à réduire le poids du transformateur. En effet, s'il permet d'augmenter de 5 °C la température moyenne des enroulements, pour une même température du point chaud, il en résulte un accroissement de 1,5 % des pertes, dont la capitalisation équivaut à 1 % du coût du transformateur.

Tous les orateurs reconnaissent l'importance que revêt la connaissance de la température du point chaud de l'enroulement, quelque soit le type de transformateur. D'où l'intérêt que présente la mesure de la température de l'huile qui baigne l'enroulement considéré, encore appelée huile moyenne «vraie». La discussion s'engage sur les mérites respectifs des deux méthodes présentées pour y parvenir, à savoir l'extrapolation de la courbe de refroidissement de l'huile, ou la méthode décrite dans le Rapport 12-02. Plusieurs orateurs sont en faveur de la première, qui ne nécessite pas d'autres mesures que celles que l'on doit faire dans un essai d'échauffement normal et trouvent excessive la marge d'erreur de 15 °C indiquée dans le Rapport 12-02.

D'autres estiment que cette méthode n'est certainement pas valable dans le cas d'une circulation d'huile forcée et non-dirigée. Enfin, la connaissance de la température du point chaud exige, selon un orateur, que l'on connaisse non seulement la température de l'huile «vraie», mais également les débits des différents canaux.

Contrairement à la majorité des orateurs, l'un d'eux estime qu'il convient de ne pas arrêter les ventilateurs pendant le refroidissement des enroulements. Si on les arrête, en effet, la température de l'huile moyenne commence par augmenter avant de diminuer, et des mélanges d'huile chaude et d'huile froide perturbent le refroidissement de l'enroulement.

Pour distinguer par des essais un enroulement à circulation d'huile dirigée d'un enroulement à circulation simplement forcée, il est rappelé que l'on peut avantageusement en comparer les constantes de temps thermiques, mais il est également proposé de

faire successivement deux essais en réduisant, pour le second, le débit des pompes à la moitié de leur débit normal.

En conclusion, il est demandé de maintenir dans les normes les exigences actuelles sur les températures moyennes des enroulements, tant que la mesure des températures des points chauds ne sera pas au point.

Pour cette mesure, des études sont entreprises sur les images thermiques actuelles, qui devront être réétalonnés pour les températures élevées. Un orateur décrit par ailleurs un capteur à quartz transmettant son indication par ultra-sons, jusqu'à une chaîne de mesure. Cinquante mesures peuvent ainsi être effectuées simultanément avec une précision très supérieure aux besoins. Un autre envisage l'emploi d'une source radio-active.

Les calculateurs électroniques ont permis de grands progrès dans l'exploitation des transformateurs. Outre le programme décrit dans le Rapport 12-05, un orateur cite un programme s'appuyant sur

- une température de point chaud limitée à 140 °C
- une charge inférieure à 150 % de la charge nominale
- un vieillissement limité
- une chute de tension compatible avec le réglage de la tension.

Ce programme a été vérifié par des essais d'échauffement de transformateurs. S'appuyant sur des bases voisines, un autre orateur décrit la règle très simple valable pour des transformateurs de 5 à 36 MVA à 63 kV ou 90 kV, à savoir:

– en service normal, la puissance débitée est maintenue inférieure à la puissance nominale, et le vieillissement est ralenti.

– en service de secours, elle est au maximum de 115 % (en été) ou de 125 % (en hiver) de la puissance nominale, avec un vieillissement accéléré.

A travers quelques exemples précis, l'importance des pertes dissipées localement par les flux de fuites à des échauffements considérables (une température de l'ordre de 200 °C est avancée pour un boulon de serrage du joint entre le fond de la cuve et la virole d'un transformateur) et sont difficilement prévisibles, car elles se manifestent dans des détails technologiques propres à chaque construction. Cependant, les flux de fuite eux-même sont guidés par des shunts magnétiques ou par des écrans conducteurs en cuivre ou aluminium.

L'expérimentation par la méthode de la tangente à l'origine de la courbe d'échauffement permet, moyennant certaines corrections pour les plaques épaisses, de calculer les pertes développées dans une pièce métallique placée dans un flux de fuite connu.

Les essais à intensité du courant réduite, sur des parties actives de transformateurs hors cuve, et l'emploi de la photographie à rayons infrarouges sont souvent indispensables pour la détection en usine de ces éventuels points chauds.

Enfin, l'analyse des gaz dissous dans l'huile, soit avant et après un essai d'échauffement suffisamment prolongé, soit au cours du service normal du transformateur est à la base d'un diagnostique qui se développe de plus en plus depuis ces dernières années.

Problèmes d'efforts en court-circuit

Les essais de tenue aux courts-circuits des transformateurs sont très coûteux. Sont-ils économiquement justifiés? En Grande-Bretagne, la réponse est non, car en 10 ans et pour un parc de 3000 transformateurs le coût des incidents dûs aux courts-circuits ne s'est élevé qu'à 200 000 £, soit 20 000 £ par an. Il est vrai que l'impédance de court-circuit de la plupart de ces transformateurs est élevée, de l'ordre de 20 %.

En France, les auto-transformateurs de 300 MVA à 420/240 kV ont été essayés dans un poste et n'ont nécessité que peu de frais supplémentaires. Les autres essais sont faits dans des laboratoires qui n'ont pas été construits à proprement parler dans ce but et on a calculé que le coût moyen d'un essai est équivalent à celui que provoque un seul incident. Les essais sont donc justifiés.

En complément au Rapport 12-07, il est précisé que, pour le câble transposé, le pas du flambage est égal à la distance de transposition et la contrainte critique ne dépend que de la dimension du brin élémentaire. Si le câble est collé à l'époxy, il peut arriver que la contrainte critique (qui dépend cette fois de la section globale du câble) décroisse avec le température.

Pour les enroulements intérieurs, en galettes, sans canal axial, la contrainte moyenne de compression du conducteur est le facteur décisif de flambage. Mais ceci n'est plus vrai pour les enroulements en galettes avec canal axial ou, à fortiori, pour les enroulements en couches. Pour les transformateurs de très grande puissance (>1000 MVA), les méthodes de conception et de construction doivent être entièrement révisées.

Pour les enroulements extérieurs, la contrainte moyenne de traction devient également décisive dès qu'elle atteint la valeur critique qui correspond à 0,2 % d'allongement.

A propos des efforts axiaux, un orateur rapporte qu'aucun film ne lui a permis de mettre en évidence une fréquence de résonance, puisque le plus grand déplacement est toujours provoqué par la première crête du courant asymétrique. Cependant, plusieurs orateurs estiment au contraire qu'il faut tenir compte de l'aspect dynamique du problème. Des essais sur maquettes, avec de faibles précontraintes ont permis de mettre en évidence l'importance des phénomènes transitoires et de confirmer les calculs effectués au calculateur électronique à partir des caractéristiques dynamiques transitoires des isolants. Mais un orateur fait remarquer que ces essais ne peuvent pas rendre compte de l'ensemble des phénomènes qui se développent dans un grand transformateur dont les masses de cuivre sont bien supérieures et dont la précontrainte atteint 50 kg/cm². Enfin, il faudrait pouvoir tenir compte simultanément des contraintes radiales et axiales sur les conducteurs, mais un orateur doute que ce soit possible si l'on tient compte de leur aspect dynamique, en remarquant que les flux de fuite radiaux comportentsouvent des harmoniques dues à la saturation de certaines pièces métalliques, ce qui complique encore le phénomène.

L'essentiel est de réduire au min. les déplacements (élastiques mais surtout plastiques) des enroulements. Ceci fait intervenir à la fois la méthode utilisée pour le séchage et la stabilisation des enroulements, la valeur de la précontrainte (50 kg/cm²) est une valeur acceptable mais pas toujours critique, et la nature des isolants utilisés. Un orateur fait état des recherches sur des matériaux nouveaux, perméables ou non à l'huile. Un autre montre que le pressboard convenablement fabriqué et traité répond à la question par son faible retrait au séchage (inférieur à 2 %), par son absence de déformations permanentes sous l'action de pressions variables et par sa stabilisation effective. Pour les transformateurs cuirassés, même à ultra-haute tension, il est toujours possible de maintenir le produit de la pression exercée sur l'isolant par son épaisseur dans des limites telles que les déplacements d'enroulements soient sans effets. Quant aux contraintes sur le cuivre, elles ne sont pas une limitation pour ce type de transformateurs.

Les méthodes de détection de défauts au cours des essais se sont enrichis de la méthode du choc basse tension qui a conquis droit de cité tant en France (dans tout les cas à vrai dire assez favorables où elle a été utilisée depuis plus de deux ans) qu'aux USA.

Mais il reste utile de maintenir la mesure de l'impédance de court-circuit, et rien ne remplace un examen visuel après décuvage.

Enfin, l'attention est attirée sur la nécessité de ne pas exiger des essais systématiquement plus sévères (par leur intensité ou par leur nombre) que ne le justifieraient les conditions de service. Aucun avis n'a encore pu être recueilli sur le tableau proposé par l'IEEE et reporté à la page 10 du Rapport 12-09 tendant à diviser les transformateurs en trois catégories à ce point de vue.

Transformateurs à Ultra-Haute Tension

Les essais diélectriques des transformateurs à Ultra-Haute-Tension sont l'objet d'une discussion qui porte à la fois sur la nature et sur leurs niveaux.

Les essais de chocs de manœuvre et de choc de foudre en onde pleine sont reconnus indispensables par tous les orateurs. Pour les essais de choc de foudre en onde coupée, les avis sont beaucoup plus partagés, certains orateurs faisant valoir que la protection par parafoudres doit éviter tout risque sérieux de contournement à proximité du transformateur, d'autres estimant que les contournements de lignes ou de matériels sont possibles et justifient

l'essai en onde coupée à 1,07; 1,1; ou même 1,15 fois la tension d'essai en onde pleine. Compte tenu des caractéristiques particulières des parafoudres qui seront utilisés pour ces Ultra-Hautes-Tensions, un orateur propose un essai en onde coupée sur la mi-amplitude.

Mais l'unanimité des orateurs se retrouve sur la nécessité de soumettre le transformateur à un essai de longue durée avec mesure de décharges partielles. Cependant, le niveau critique de décharges devra être accru par rapport aux tensions moins élevées, en raison des difficultés considérables que l'on rencontre pour réduire le bruit de fond à des tensions aussi élevées. Des niveaux de 250 pc, 500 pc et même 1000 pc sont articulés. Dans ces conditions, l'absence de décharges partielles ne sera pas une preuve à elle seule suffisante de fiabilité à la tension de service normale. Des divergences apparaissent sur le cycle d'essais à fréquence industrielle qui comporte les mesures de décharges partielles. A titre d'exemple, il est question d'un essai d'une heure à 1,2 $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ avec une pointe à 1,5 $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ pendant une minute puis retour à 1,2 $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$; ou d'un cycle de deux heures comportant successivement une élévation de la tension de 0,5 $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ à $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$, puis à 1,2 $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ suivi d'un retour à $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ puis d'une pointe de 40 à 100 périodes à 1,5 $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ et retour à $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$. Un orateur prévoit un essai de 12 heures à 1,1 $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ ou 1,3 $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ avec mesures de décharges partielles.

La tension qui sera la plus probablement retenue dans une première étape sera U_m = 1200 kV pour laquelle les niveaux d'essais proposés sont les suivants:

- Choc de manœuvre 1925 kV (15 à 25 chocs) ou 2100 kV
- Choc de foudre, onde pleine 2300 kV ou 2400 kV

Selon les orateurs la tension ultérieure serait de 1500 kV ou 1600 kV, mais il est prématuré de proposer des tensions d'essai.

Le problème du transport est fondamental. Les auto-transformateurs de 1000 MVA à 1100/315 kV ou 1100/500 kV seraient transportables par chemin de fer. Sera-t-il économiquement intéressant de réaliser des unités de puissance supérieure? La question reste posée.

Enfin, l'essai des bobines de réactance, shunt pose, amplifiées par la puissance et la tension, les problèmes connus pour les hautes et très hautes tensions: difficulté à dépasser la tension nominale à fréquence industrielle, et à obtenir les formes d'ondes normalisées pour les chocs de foudre (durée du front) et les chocs de manœuvre (durée de la queue).

Un orateur propose de mettre au point un essai par tension alternative amortie à fréquence voisine de la fréquence de service, au moyen d'une décharge de condensateurs. Non seulement il jouerait le rôle d'essai diélectrique, mais il permettrait également de mesurer les pertes de la bobine.

Groupe 13 – Appareillage de coupure

1. Tensions transitoires

1.1. Puissance de court-circuit et tensions transitoires dans les réseaux réels

(Rapports 13-01, 13-03, 13-06, 13-09, 13-09, 13-11)

Tension transitoire de rétablissement initiale (TTRI)

Des résultats nouveaux viennent confirmer le saut initial de la TTRI dans certaines configurations. Ce saut dépend aussi de la tension d'arc préalable.

Inversément ce saut ou des oscillations parasites dues aux caractéristiques physiques fines du réseau influencent différemment le pouvoir de coupure selon le type d'appareil considéré. Cette influence n'est toutefois sensible que pour les grands courants de court-circuit (> 40 à 50 kA); en effet, si le saut est inférieur à la tension d'arc, certains pensent qu'il peut être négligé et que la recherche de la structure fine de la TTRI est sans intérêt.

A cet égard, la nécessité de pousser la description à plus de 4 paramètres (CEI actuelle), par exemple 7 est vivement soulignée par certains experts, mais combattue par d'autres qui pensent que l'on va trop loin, d'autant plus qu'il est difficile – certains disent impossible – de reproduire ces paramètres correctement en station d'essai; il est d'ailleurs reconnu qu'ils varient beaucoup d'une installation à une autre. Pour la même raison la classification selon la forme de la TTRI peut paraître académique.

A la question du rapport spécial: faut-il spécifier les paramètres de la TTR ou bien spécifier la réalisation physique des circuits d'essai? Les réponses sont diverses:

Il est reconnu d'une part que des circuits identiques rendraient vraiment les essais reproductibles, mais par ailleurs, il est impossible d'y parvenir pour tous les cas à considérer et des écarts sont inévitables entre stations d'essai, comme ils le sont entre elles et le réseau.

Des orateurs proposent cependant des circuits bien définis. L'un d'eux pense que ceci n'est possible que pour les lignes artificielles pour défaut kilométrique, ce qui semble en effet le plus facile et le plus important pour certains appareils à grand pouvoir de coupure.

L'influence des capacités sur le retard initial est à nouveau discutée. Un exemple est donné où le type de transformateur de courant a une très faible capacité et où le retard est inférieur à 0,5 µs, donc insignifiant. Il est dit aussi que les condensateurs de répartition de potentiel amortissent considérablement la TTRI.

En conclusion, il apparaît que le sujet mérite la poursuite des investigations et aussi leur extension aux postes blindés, dont les impédances d'onde sont faibles.

TTR Globale

Il apparaît nettement que la spécification CEI actuelle n'est pas suffisamment étayée par des mesures en réseau pour la valeur de plus grande crête de la TTR et pour le temps correspondant, ceci pour les réseaux de tension égale ou supérieure à 420 kV.

Un expert donne des résultats à ce sujet: Le temps jusqu'à la plus grande crête augmente avec la tension; il atteint 900 µs pour 420 kV.

Là aussi, les investigations doivent se poursuivre.

1.2. Surtensions de manœuvre

(Rapports 13-02, 13-03, 31-09, 33-05)

Sur la définition du facteur de surtension et sa décomposition entre facteurs de surtension transitoire et de surtension temporaire (à fréquence industrielle) des orateurs rappellent que la question est réglée depuis 6 ans, à la suite des travaux communs des CE 13 et 31 et que les définitions ont été publiées en 1968. De plus, il est fait observer que ces 2 surtensions peuvent ne pas être simultanées et que dans ce cas leur rapport n'a pas de sens pratique; la temporaire peut excéder la transitoire.

Il apparaît nettement que l'on a mis au point un peu partout des méthodes d'essais sur modèles (analyseur de transitoires) ou des méthodes de calcul numérique tout à fait satisfaisantes si l'on en juge par la bonne similitude avec les essais en réseau. Plusieurs interventions ont confirmé ce que l'on savait déjà depuis les sessions précédentes sur l'influence des résistances d'enclenchement, des charges résiduelles, du taux de compensation de l'energie réactive, des amorçages d'arc à la fermeture. Des méthodes sont proposées pour le calcul de toutes les configurations possibles.

Pour la coupure des transformateurs à vide ou chargés par des réactances, le choix entre résistances sur le disjoncteur ou parafoudres pour limiter les surtensions reste ouvert, les deux procédés étant efficaces. Il semble cependant qu'une tendance se dessine en faveur des parafoudres, d'autant plus que les disjoncteurs peuvent avoir déjà des résistances, mais dans un autre but et donc avec une valeur qui ne convient pas pour limiter les surtensions.

La poursuite des études devrait s'orienter dans 4 voies:

- rassembler les données sur les paramètres des réseaux.
- rassembler des informations sur les surtensions réelles.
- étudier le surtensions transitoires autres que celles liées à la fermeture ou refermeture des lignes, ceci surtout pour les THT avec

niveaux d'isolement réduits. Il s'agit par exemple des surtensions provoquées par un court-circuit ou par son élimination, ou bien par la coupure d'une charge.

– étudier la forme des surtensions, importantes pour la tenue diélectrique des isolants.

2. Phénomènes au zéro de courant et essais synthétiques

(Rapports 13-01, 13-05, 13-06, 13-09, 13-10)

En présentant ce sujet, le Président tient à rendre hommage à la mémoire du professeur Hochrainer dont les travaux dans ce domaine ont été d'un apport décisif pour une meilleure connaissance des phénomènes de coupure.

Des compléments sont apportés aux théories de l'arc présentées dans les rapports; l'une d'entre elle, par exemple a été complétée pour couvrir les réallumages diélectriques. Certains experts sont d'avis qu'il est possible d'entreprendre des calculs de pouvoir de coupure ou tout au moins d'extrapoler convenablement les résultats d'essais.

La question des oscillations initiales de la TTRI est à nouveau évoquée:

Concernant les disjoncteurs, confirmation a été apportée par plusieurs orateurs de la différence de TTRI lors d'une coupure avec SF_6, où l'oscillation est marquée, et lors d'une coupure avec air comprimé, où l'oscillation disparaît. Une explication a été proposée: les carctéristiques différentes de l'arc (tension d'arc en particulier) font que le di/dt réel est plus proche du présumé avec SF_6, ce qui laisse les oscillations se développer presque comme avec un disjoncteur idéal; avec l'air le di/dt au zéro est faible, et les oscillations ne sont pas excitées. Il semble cependant que les disjoncteurs à SF_6 supportent cette oscillation, au vu des résultats d'essais présentés pour des appareils à auto-soufflage.

Concernant les essais synthétiques, des orateurs apportent des informations sur la réalisation des circuits pour simuler la TTRI correcte. L'opinion est exprimée qu'en général les essais synthétiques sont mieux reproductibles – car en fait les circuits sont assez bien normalisés – que les essais directs ou en réseau.

La réalisation des essais synthétiques pour disjoncteurs avec résistances donne lieu à des controverses: certains auteurs proposent que les essais se fassent sans la résistance, en modifiant en conséquence la TTR, tandis que d'autres estiment qu'elle doit être insérée, au moins pendant la courte période autour du zéro de courant, décisive pour la coupure. Il est rappelé que le GT 13-04 a fait publier dans Electra les règles à observer en la matière. Par ailleurs des schémas à 3 circuits avec source de tension de rétablissement alternative ont été proposés.

Un orateur vient confirmer que le domaine le plus intéressant du point de vue de l'interaction disjoncteur-circuit pour les appareils à faible volume d'huile est situé en dessous de 10 kA; il indique que l'injection d'huile peut éliminer le courant post-arc et accroître la VATR admissible, les non-coupures étant diélectriques.

Un autre orateur montre des courants post-arc importants de disjoncteurs à faible volume d'huile pour des courants de 25 et 40 kA, en dessous de la limite de coupure; une partie des essais a été faite selon le schema de Skeats.

Au sujet de la limite thermodynamique (au delà de laquelle il peut y avoir refoulement de l'arc) aux très grands courants de court-circuit, un expert montre qu'avec un certain type d'appareil à air comprimé on tire avantage de ce phénomène en se situant au delà de la limite, contrairement à ce qui est proposé dans l'un des rapports. On évite ainsi de souffler l'arc avant la période décisive précédent le zéro de courant. L'énergie d'arc est réduite, le plasma se comportant comme une soupape.

En conclusion, il apparaît que les investigations sur l'arc et les circuits synthétiques ne peuvent que se poursuivre afin d'obtenir les progrès nécessaires.

3. Fiabilité des disjoncteurs

(Rapports 13-04, 13-07, 13-08, 13-09)

Ce sujet nouveau a éveillé un grand intérêt si l'on en juge par le nombre élevé d'orateurs inscrits.

M. Michaca, Chef de file du GT 13-06, présente tout d'abord le sujet et pose certaines questions pour orienter la suite des travaux.

L'utilisateur a le souci de la qualité du service et des coûts, ce qui l'amène à se pencher sur la fiabilité des disjoncteurs, laquelle dépend des trois facteurs: qualité, essais, maintenance.

Des progrès sont souhaitables pour une maintenance adéquate et réduite. Peut-on imaginer 10 à 20 ans de service sans remplacer les contacts ou même à la limite des appareils faibles et sans entretien?

Des progrès sont possibles par une meilleure connaissance des défaillances.

Il conviendrait de comptabiliser aussi les défaillances mineures et les défauts, ce qui n'est pas souvent le cas actuellement. D'où la collecte de l'information proposée par le GT, avec fiche normalisée. Les pays représentés au GT ont donné leur accord pour l'enquête envisagée, en la limitant, dans chaque pays, à une partie du réseau et sur 2 à 3 ans seulement, ceci pour des raisons pratiques.

Les essais proposés dans le rapport 13-07, basés sur l'expérience en service, sont une première étape.

A ce sujet, et en réponse aux questions du rapport spécial, le Chef de file pense que deux appareils donnant les mêmes résultats seront considérés comme l'equivalent et que les essais sont à faire sur des appareils complets dans la mesure du possible.

Par ailleurs, l'analyse des coûts montrera si un accroissement de la fiabilité conduit à des économies au niveau du réseau.

De la discussion qui s'ensuit, il ressort qu'un clivage assez net s'établit entre utilisateurs et constructeurs. Les opinions exprimées par les premiers sont les suivantes:

Un utilisateur pense que si les défaillances électriques sont rares, ceci est dû au sérieux des règles existantes et aux marges de sécurité prises par les constructeurs et les utilisateurs. On ne pourrait supprimer les essais que si les besoins des réseaux n'évoluaient pas et si la construction des appareils restait immuable! Les essais proposés par cet utilisateur ont fait l'objet d'une comparaison avec les résultats d'exploitation; on a pu reproduire la moitié des défaillances d'exploitation.

Un autre exploitant pense que des améliorations sont possibles en veillant sur certains aspects de la conception des appareils: matières, tolérances, interchangeabilité, équipement auxiliaire, etc ...

Un troisième, en accord avec l'opinion d'un constructeur, exprime l'idée que l'examen des défaillances ne peut se faire qu'en fonction du type d'appareil considéré, en étroit contact avec le constructeur. Une généralisation des résultats statistiques paraît difficile; il n'est d'ailleurs pas possible de répondre à un questionnaire de 100 points.

Il est dit également par un orateur que l'on ne peut séparer la fiabilité du disjoncteur de celle du réseau.

Les opinions des constructeurs sont les suivantes:

La fiabilité dépend du constructeur pour la conception et la fabrication (et en partie pour la maintenance) et de l'utilisateur certains gros matériels sont plus élévés que pour les disjoncteurs.

Certaines statistiques montrent que les taux de défaillance de certains gros matériels sont plus élévés que pour les disjoncteurs.

Les constructeurs, responsables de leur technique, expriment généralement l'avis que le problème du contrôle de la qualité et des essais représentatifs est de leur ressort, en fonction de la conception qui leur est propre. Il est dit par certains orateurs que l'essai de type unique tel que proposé n'est pas concluant, en ce sens que des appareils de fiabilité différente peuvent se comporter parallèlement lors d'un tel essai. Il est préférable de faire des essais répétés, par prélèvement, en particulier sur des composants déterminés, comme il est d'usage par les constructeurs.

Certains utilisateurs et constructeurs s'entendent pour dire que le nombre de manœuvres pour les essais ne peut pas être le même pour des appareils qui ont des fréquences de fonctionnement en service différentes; un orateur propose que des classes différentes soient étudiées, à l'image des contacteurs.

Des divergences s'expriment sur l'utilisation des méthodes mathématiques.

Plusieurs experts proposent des approches mathématiques différentes faisant intervenir les temps moyens entre défaillances, entre réparations, les structures série ou avec redondance, etc. ... Des diagrammes de calcul sont suggérés, dont certains s'étendent à l'ensemble d'un poste.

D'autres experts, dont un s'appuie sur des statistiques d'exploitation étendues, montrent que les données actuelles sont trop incertaines et trop disparates pour entreprendre des calculs sérieux. Certaines lois classiques ne semblent pas applicables. La dispersion des taux de défaillance est considérable. Des statistiques sur une courte période sont sujet à caution. Bref, seuls des modèles mathématiques simples semblent pouvoir être envisagés.

Ceci montre que l'effort initial doit être divisé sur des définitions adéquates et une bonne fiabilité de la collecte des informations.

S'agissant de la classification des défaillances, plusieurs orateurs confirment la prédominance des défaillances mécaniques (par exemple 80 % à 90 % du total). L'un d'eux montre que dans un réseau les défaillances mineures et les défauts sont très nettement prédominants depuis une dizaine d'années.

Par ailleurs des constructeurs font ressortir, statistiques à l'appui, pour l'un d'eux, que la classification selon le principe de coupure, bien que facile à établir, n'est pas pertinente du tout et qu'elle doit être abandonnée, car elle peut conduire à des interprétations erronées.

En conclusion, il faut poursuivre les travaux pour mieux éclairer les nombreux aspects de ce vaste problème.

Groupe 14 – Matériel de conversion alternatif – continu

Le Président ouvre la séance et rappelle que les rapports 31-08 et 32-04 pourront être discutés au cours de cette séance, et que les orateurs n'ayant pas eu l'occasion de participer dans le groupe 13 au sujet des disjoncteurs à courant continu pourront intervenir ici dans le cadre des questions 4.2, 4.3 et 4.4 du Rapporteur Spécial.

1. Expérience d'exploitation concernant le matériel existant

En dépit du soin apporté à la rédaction des rapports rassemblés dans le rapport 14-07, les comparaisons restent toujours difficiles à établir entre les différents systèmes en raison de la variété et de la complexité des phénomènes propres à chaque installation. Il semblerait intéressant d'y trouver l'expérience relative à la fiabilité des matériels – fréquence des défauts et durée de réparation – et relative au comportement transitoire pendant les défauts et leurs conséquences exactes sur la qualité d'exploitation. Cependant ces rapports sont déjà suffisamment chargés et n'ont pas d'égal pour les systèmes alternatifs. La mise en évidence des performances dynamiques des liaisons à courant continu constitue une source d'information particulièrement utile mais malheureusement difficilement accessible en raison, soit de la quantité des mesures à maintenir en place, soit du choix des essais les plus représentatifs.

Néanmoins, des enregistrements réalisés sur Pacific Intertie ont montré la très grande souplesse d'adaptation du réseau alternatif parallèle à la suite du blocage et de tentatives de déblocage de cette liaison à courant continu. De telles mesures sont attendues des projets Nelson River et Eel River.

Les phénomènes de retour d'arc dans les valves à vapeur de mercure semblent être maintenant bien maîtrisés. A faible courant et angle d'amorçage important, une capacité placée aux bornes des ponts et une amélioration du contrôle des valves ont donné des résultats positifs. La qualité des porcelaines d'anode a également été améliorée en éliminant les problèmes dus à la migration électrolytique du sodium. Enfin, certaines électrodes ont été modifiées. Les premiers résultats d'exploitation de la station de Sylmar font apparaître un fonctionnement satisfaisant de ces valves. Les parafoudres auto-extincteurs sont maintenant au point, cependant aucune liaison n'en est encore équipée. Ce type de parafoudre évite de devoir bloquer les ponts au moment de leur amorçage. Il se caractérise également par un bon rapport entre leur tension d'amorçage et leur tension d'extinction.

La conception des filtres pour les courants harmoniques semble devoir changer en raison du développement des unités de conversion à thyristors duo-décaphasées permettant de supprimer les filtres d'harmonique 5 et 7 parfois au profit d'un surdimensionnement des filtres d'harmoniques de rangs plus élevés.

Il est apparu dans de nombreux cas que l'efficacité du filtrage à adopter dépendait essentiellement de l'environnement et qu'une certaine économie pouvait être faite grâce à une meilleure connaissance des niveaux de perturbation admissibles.

Il a été remarqué en particulier que les filtres des stations de conversion pouvaient également être soumis à des harmoniques présents sur le réseau et créés par d'autres installations.

Enfin, lors du déclenchement de tout ou partie de ces filtres, un système élaboré de protection assure le contrôle des puissances active et réactive et donc du niveau des harmoniques.

Sakuma

La nouvelle station d'essais de Sakuma de 37,5 MW à 125 kV est équipée de valves à thyristors légèrement différentes pour le 50 Hz et le 60 Hz. Ces valves ont les caractéristiques suivantes: 192 thyristors de 2500 V, coefficient de surtension 3,84; coefficient de surintensité 4 à 5. Les essais ont montré que cette technique était applicable pour le transport à courant continu à haute tension et pour la conversion de fréquence.

Pacific Intertie

La station de conversion de Sylmar, détruite par le tremblement de terre de San Fernando en février 1971, a été remise en état le plus rapidement. Un premier pont a été remis en service en mars 1972 et les 6 ponts sont actuellement pratiquement remis en état de fonctionnement. Cette reconstruction a été l'occasion de modifications dans les valves et dans les circuits.

La liaison a déjà été exploitée pendant 5 mois avec un pôle à la terre à Sylmar. Ce retour métallique présente des inconvénients en raison des pertes élevées et de l'impédence du retour, mais a permis d'éviter de graves phénomènes de corrosion électrolytique dans le sol (câbles, pipe-lines, etc.). Ensuite, la liaison a été exploitée en régime bipolaire avec 2 et 3 ponts pendant un mois. Les conditions de fonctionnement de la station et notamment des valves ont été trouvées satisfaisantes:

– 5 premiers mois: 19 retours d'arc surtout dans les valves de shuntage;

– dernier mois: 9 retours d'arc et 6 retours d'arc à conséquence dont trois sont dus à un défaut de la protection.

Gotland

La disponibilité de l'ensemble de la liaison a été de 95,4 % pendant l'année passée. Les valves sont vérifiées 2 fois par an et 24 + 3 thyristors ont déjà été changés. Dans certaines valves est apparu un faible courant à la tension inverse maximale.

Ce phénomène se développant dans l'enveloppe des thyristors serait analogue au vieillissement électrolytique des anciennes porcelaines d'anode. L'essai de valves à thyristors en vraie grandeur a été réalisé dans plusieurs stations de conversion: Lydd, Volgskskaya et bientôt Vester Hassing. L'accent a été mis sur l'intérêt de tels essais.

2. Installation en construction ou en projet Conception et essais du matériel des stations terminales

Nelson River

Le choix des filtres à la station émettrice a été à la fois économique et technique en tenant principalement compte des retours d'arc à conséquence et des conditions d'exploitation; l'intérêt des dispositions adoptées dans cette interconnexion ne ressortirait qu'après la mise en service. Certains de ces équipements sont justifiés par le fait que les stations seront commandées à distance. L'emploi de 2 réactances de filtrage en série a été nécessité par les perturbations téléphoniques qui auraient été trop importantes. L'interconnexion a d'abord été exploitée en courant alternatif 230 kV en utilisant 3 des 4 conducteurs de la ligne. Des essais en boucle ont été réalisés dans chaque station. Un essai a été réalisé en utilisant la 4e ligne comme liaison monopolaire. Il a fait apparaître des phénomènes importants d'induction à 60 Hz sur cette ligne et réciproquement. L'ensemble de ces essais – de courte durée – a montré un comportement satisfaisant des valves.

Eel River

Le système de protection contre les surtensions est relativement simple en raison de l'absence de ligne et du fait que les 2 ponts de conversion à chaque extrémité fonctionnent toujours à

12 pulsations. La protection contre les surintensités est également simplifiée, car l'installation est toute à l'intérieur du bâtiment.

La station est en fonctionnement depuis quelques mois et est entrée en service commercial le 28 juillet 1972. Les essais réalisés souvent de nuit afin de ne pas perturber le transit commercial commencé dès le mois de mai ont montré les performances excellentes de la station. Même si la puissance de 320 MW n'a pas encore été atteinte, ces essais ont montré une très grande marge entre les spécifications et les performances de la station. Aucun thyristor n'a encore été changé depuis le début du fonctionnement des ponts.

Kingsnorth Scheme

Des essais de marche en boucle ont été réalisés à la station de Kingsnorth et sont en cours à la station de Beddington. Un fonctionnement bipolaire est espéré pour la fin de cette année.

Cabora Bassa

Des indications ont été données sur l'avancement des travaux et sur les techniques utilisées dans la station d'Appolo dont la 1re étape devrait rentrer en service en 1975. La réalisation de cette station a été accélérée afin de réserver un temps plus grand aux premiers essais.

Hokkaido – Honshu

Cette interconnexion sous-marine devrait entrer en service en 1977. La puissance initiale de 300 MW (250 kV/1200 A) sera portée plus tard à 600 MW (500 kV). Les valves seront isolées et refroidies par huile. La liaison comporte 190 + 150 km de ligne et 40 km de câble.

Kazakhstan – Moscou

Les essais de cette liaison de 2400 km sont prévus pour 1975. Le type de valve utilisé n'est pas encore déterminé: des essais sont en cours.

Norvège – Danemark

Cette interconnexion a la particularité de relier un réseau à production hydraulique à un réseau à production thermique. La 1re étape de 500 MW est prévue pour 1976-77. La puissance sera ensuite augmentée jusqu'à 1000 MW. Le principal problème réside dans la grande longueur (130 km) et la grande profondeur des câbles (540 m). Des essais sont en cours pour déterminer le type de câble le mieux approprié (type Solid 250 à 300 kV avec double armature d'acier). Dès la 1re étape la liaison sera du type bipolaire avec des stations fonctionnant seulement à 12 pulsations et serait équipée de valves à thyristors.

La spécification d'une certaine disponibilité de la station d'Eel River repose sur des calculs de fiabilité d'autant plus aisés que les valves sont du type à thyristors et qu'il n'y a pas de lignes. De tels calculs de fiabilité permettent de déterminer les points les plus faibles d'un dispositif, mais la majorité des orateurs s'accorde pour reconnaître qu'on ne peut les appliquer à l'ensemble d'un système de conversion qu'en se réservant une marge de confiance de 80 à 90 % en raison des données incertaines que l'on est obligé de prendre en considération.

Le choix des valves à thyristors à refroidissement à huile ou air dépend d'une part de considérations techniques relatives à leur construction et à leur maintenance, mais d'autre part, il dépend aussi des conditions d'emploi déterminées par l'espace disponible, le climat ou les perturbations.

La protection des valves à thyristors contre les surtensions est le plus souvent réalisée par des parafoudres placés en parallèle avec les valves. Il semble possible de déterminer la marge entre le niveau de protection des parafoudres et la tenue des valves à thyristors par des considérations statistico-économiques. Ce processus semble conduire à une marge qui, pour beaucoup, paraît trop étroite en raison principalement de l'incertitude de nombreuses données. La protection contre les surintensités est obtenue, soit par un dimensionnement suffisant des valves, soit en utilisant des déchargeurs de surintensités placés en parallèle. Dans le premier cas, il en ressort une simplification dans la conception du système, qui peut aller jusqu'à réduire en même temps le nombre de ponts en série dans chaque pôle. Dans tous les cas, les ponts de conversion sont protégés contre les surintensités ou les surtensions à front trop raide par des capacités ou des réactances appropriées.

Dans de nombreux cas, notamment pour les installations intérieures des dispositions sont prises pour rendre un amorçage dans les ponts parfaitement improbable.

3. Conception et essais des valves

Il semble à la majorité des orateurs que la technique des valves à vapeur de mercure avec des anodes en parallèle est arrivée à une limite qui se traduit par la complexité des valves les plus puissantes et par la difficulté d'éliminer les retours d'arc à conséquence. Une nouvelle technique de valve à vapeur de mercure a été proposée, mais on ne peut savoir actuellement quelles seraient des possibilités en face des valves à thyristors.

Celles-ci offrent en effet une plus grande souplesse grâce à leur «constitution» modulaire qui permet à la fois de concevoir des installations plus puissantes et de faciliter les essais.

La normalisation des tensions et courants continu a semblé être prématurée pour l'ensemble des orateurs qui y ont vu plutôt un frein aux futurs développements techniques. De nombreux avis ont été donnés sur les différents essais possibles des valves. Il semble qu'une distinction soit d'abord à faire entre essais de laboratoire, de type et de routine.

On a remarqué également que:

D'une part un choix est à faire sur les essais les plus représentatifs des contraintes rencontrées en fonctionnement.

D'autre part, les avis sont restés assez partagés sur la façon de réaliser ces essais qui peuvent être appliqués aux différents modules des valves ou aux valves entières.

En tout état de cause, les essais appliqués aux valves entières dans des conditions réelles sont considérés comme particulièrement intéressants, en ce qui concerne notamment l'influence des circuits extérieurs (capacités, parasites, etc.).

4. Commande et protection des installations à courant continu

Des études sur simulateur et des essais réels ont montré l'intérêt des dispositifs de contrôle adoptés dans les installations de Nelson River et Eel River. En plus des dispositifs permettant de moduler la puissance des stations des dispositifs de protection peuvent améliorer les conséquences des ratés de commutation en avançant l'instant d'allumage des valves ou en cas de double raté en bloquant les ponts afin de permettre une reprise correcte plus rapide.

La technique des liaisons multiterminales semble maintenant connue, mais aucune réalisation n'est encore envisagée. Les premières applications devraient concerner la distribution de l'énergie à partir d'un grand centre de production ou l'alimentation des zones urbaines.

La nécessité de liaisons de communication denses et rapides semble être effectivement nécessaire pour protéger de tels réseaux.

Afin de ne pas écrouler la tension de tels réseaux lors de la défaillance de ponts dans les stations «onduleur», des dispositifs de protection à action très rapide doivent être mis en place. Un compromis doit être trouvé entre la rapidité et la sensibilité de tels dispositifs. Une autre action consiste à augmenter sensiblement les valeurs des réactances de lissage.

Groupe 15 – Matériaux isolants

La séance de discussion du groupe 15 a eu lieu le 1er septembre. Environ 150 personnes assistaient à la réunion. Une vingtaine d'interventions ont été faites sur les 3 sujets préférentiels. Le premier de ces sujets était relatif aux nouveaux systèmes d'isolation et à leur comportement en service. En ce qui concerne les nouveaux systèmes, ont été particulièrement analysées les performances des ensembles films thermoplastiques – gaz et films thermoplastiques – liquides ainsi que leur application possible dans le domaine des très hautes tensions, pour la réalisation de câbles ou des conduits notamment, éventuellement de transformateurs à très haute tension.

Les problèmes diélectriques suivants ont été traités: Augmentation des tenues aux tensions alternatives et de la tenue au choc

des systèmes par l'augmentation de pression du gaz, par le choix d'un gaz approprié (SF_6), par l'utilisation d'un liquide de permittivité adaptée à la permittivité du solide. Divers moyens technologiques d'amélioration de la qualité de l'impregnation par le gaz ou le liquide ont été proposés. Avec un certain nombre des films envisagés, les pertes diélectriques demeurent très faibles.

Le comportement thermique de ces systèmes a été signalé:

– d'une part, sous l'angle des températures maximales admises en régime permanent, ou en régime de pointe,

– d'autre part, du point de vue de la diminution des résistivités thermiques aux fins d'amélioration des transferts calorifiques. L'utilisation des films métallisés pour améliorer les transferts isolant-conducteur a été citée.

La dissolution et le gonflement du solide, problèmes spécifiques des nouveaux systèmes polymère-liquide, doivent être considérés, mais des solutions satisfaisantes peuvent être trouvées. L'utilisation possible de papiers synthétiques a été mentionnée. Parmi les essais permettant d'apprécier la qualité d'une isolation, dans les nouveaux systèmes d'isolation, priorité a été donnée dans la discussion, aux mesures de décharges partielles.

On a, d'une part, fait mention de l'aptitude des différentes méthodes de mesure des décharges partielles, pour mettre en évidence les défauts d'une isolation. Corrélation satisfaisante a pu être trouvée entre plusieures méthodes, soit dans les cas d'isolations statoriques, soit dans le cas de transformateurs de mesure à résine moulée.

On a, d'autre part, montré que par une série d'appareils à isolation moulée d'une type de fabrication donné, il existe une corrélation entre le niveau de décharges et le risque de défaillance en essai accéléré. Par contre, le mode de fabrication influe sur cette corrélation.

L'aptitude des mesures de tgδ à très basse fréquence à mettre en évidence des défauts de modèles d'isolations statoriques a été évoqué.

Les condensateurs à diélectriques mixtes: papier-polypropylène ont fait l'objet d'une discussion concernant les améliorations que la nouvelle technique a permis d'atteindre. Les moyens de détection et de mesure des défauts que peut présenter le film de polypropylène, inclusions, cavités ont été passés en revue. Une analyse systématique de la fréquence et de l'importance des défauts a été proposée.

Au sujet de l'emploi des askarels, il a été signalé que les appareils électriques – condensateurs notamment – ne sont pas responsables des pollutions attribuables à d'autres emplois des diphényles chlorés. En effet, ces appareils sont scellés et ne font l'objet d'interventions que dans les ateliers des fabricants dûment outillés pour en assurer la manipulation sans risque de pollution.

Les performances en service des condensateurs à diélectrique mixte semblent avoir atteint un niveau supérieur à celui qu'on désirait attendre des papiers imprégnés.

En particulier, les problèmes de stabilité thermique paraissent totalement surmontés. L'expérience de la 1re génération mise en service confirme qu'aucune manifestation imprévue n'a jusqu'alors amené à revenir sur la décision d'utiliser le nouveau type de condensateurs. La défaillance par suite de décharges partielles bien que faible semble être le point vulnérable de ces condensateurs.

Un rapport traitant de la réalisation d'isolations en haute tension avec des isolants synthétiques avait été rédigé par un groupe d'experts. Les interventions ont confirmé l'extension croissante de l'emploi de tels types d'isolants. Les solutions atteintes jusqu'alors semblent satisfaire les applications envisagées. Mais de nombreuses questions restent encore à résoudre pour l'élargissement du domaine d'utilisation. Une remarquable amélioration peut être attendue de l'emploi intelligent de ces matériaux grâce aux propriétés mécaniques et à la légèreté des pièces moulées, à l'aptitude des résines à permettre la réalisation de pièces de formes très variées. Les qualités inhérentes des isolations sont à même de fournir des solutions tout à fait intéressantes du point de vue de la structure des futures lignes et du matériel à haute tension. Mais l'application des résines moulées s'est également révélée possible pour nombre d'autres usages, actuellement à l'étude.

Groupe 21 – Câbles isolés haute tension

1. Les trois sujets préférentiels déjà retenus pour les sessions précédentes ont été recommandés pour la présente session:

– les câbles à courant continu,
– les câbles à isolant synthétique,
– les problèmes de transport massif à haute et très haute tension.

2. Câbles à courant continu

Sur le premier sujet, plus de 10 orateurs sont intervenus tant sur les problèmes soulevés par les câbles sous-marins (sujet du rapport 21.08), que sur le comportement des isolants synthétiques sous contraintes continues (rapport 21.03).

2.1 En ce qui concerne la mécanique des câbles sous-marins, il apparaît, en dépit (ou grâce à) de la large expérience acquise, qu'il existe des opinions très diverses sur l'utilité des rubans «anti-twist» et d'une tension résiduelle à la pose, sur l'intérêt économique et les possibilités techniques de l'enfouissement des câbles à la pose et de leur réparation. On s'est toutefois plu à reconnaître que les câbles sous-marins existants à c. c. n'avaient que très peu de défauts électriques, mais surtout des défauts mécaniques.

2.2 Quant aux isolants extrudés pour tension continue – principalement le polyéthylène, les discussions ont mis en évidence – ont rappelé – l'importance des charges d'espace, dans les isolants homogènes, l'importance de la température sur la distribution micro- et macroscopique de la tension et par conséquent, sur les conditions d'essais à faire subir à ces câbles. Il est apparu toutefois que beaucoup d'études restaient à faire dans ces domaines. A noter également que des études technico-économiques étaient en cours pour déterminer, pour des câbles O. F., quelles étaient les sections et tensions optimales avec refroidissement naturel et forcé.

3. Câbles à isolant synthétique

Le deuxième sujet a été largement débattu (environ 20 orateurs), sous trois aspects.

3.1 *Le comportement des isolants:* si le support théorique existant fait l'accord général (interprétation des courbes de vie par la distribution de Weibull), on a beaucoup discuté de la signification physique des paramètres de dispersion et de durée de vie et de leur rapport.

C'est ainsi que les rôles respectifs des impuretés, des vides détectables par décharges partielles, de l'eau et des contraintes de température ne sont pas totalement élucidés.

3.2 *La nature des matériaux:* au polyéthylène basse densité classique sont venus s'ajouter, pour la haute tension, le polyéthylène haute densité et le PRC dont les avantages et inconvénients respectifs ont été discutés sous l'aspect des propriétés physiques et conditions d'emploi.

3.3 *Les câbles terminés:* des câbles 225 kV – 200 MVA isolés au PE sont en service en France. Des câbles PE et PRC sont en essais dans différents pays pour des tensions du même ordre. Le problème posé est maintenant de définir des essais significatifs, tant pour la qualification que pour le contrôle de fabrication. Aux essais classiques, tels que ceux pratiqués sur câbles au papier, il a été suggéré d'ajouter des essais de vieillissement définis à partir de la connaissance statistique du comportement d'échantillons courts.

4. Câbles de grande puissance

A retenu l'attention de plus de 20 orateurs qui ont traité des questions les plus diverses indirectement soulevées par les Rapports 21-01, 21-02, 21-04, 21-06, 21-10.

4.1 De nouvelles méthodes améliorées ont été proposées pour le calcul de l'échauffement de câbles en régime transitoire, tenant mieux compte de l'environnement thermique (remblai contrôlé, irrigation des câbles, etc.) et des modèles mathématiques impliquant l'emploi de calculateurs ont été élaborés dans différents pays pour déterminer instantanément les possibilités de surcharge des câbles en service.

Mais la tendance est d'essayer de s'affranchir des conditions naturelles par l'emploi du refroidissement forcé qui paraît être pour l'avenir immédiat la solution de choix pour augmenter con-

sidérablement la puissance unitaire des câbles. Il peut s'appliquer aussi bien aux câbles déjà existants qu'aux nouvelles techniques.

4.2 En ce qui concerne les câbles à gaz, des progrès importants ont été mentionnés: aux USA, trois câbles (à 230 et 345 kV) sont en service, six sont projetés; au Japon, des câbles sont en expérimentation à 500 kV et seront prochainement introduits sur réseau; en Europe, ces câbles sont également étudiés. De tels câbles sont capables d'une puissance de plusieurs GVA, selon la tension retenue. Mais des solutions plus classiques, câbles à huile isolés au papier ou de rubans synthétiques, avec des tensions nominales de 550 et 750 kV sont également possibles pour ces puissances.

4.3 Quelques soient les techniques retenues, un problème important sera – et est déjà – la disponibilité des réseaux de câbles. Toutes les interventions sur ce sujet ont montré l'intérêt de collecter des renseignements sous une forme à normaliser sur les statistiques de défauts et leurs causes et d'élaborer des règles pour leur utilisation dans de nouveaux projets.

Enfin, une discussion approfondie a eu lieu sur des problèmes plus technologiques: en particulier sur les techniques de câbles O. F. avec gaine de plomb et d'aluminium utilisés dans les puits profonds, sur les sections maximales admissibles, sur les conditions de pose et de fixation des câbles et sur les problèmes d'accessoires (porcelaine haute pression, nécessité de joints d'arrêt, etc.).

Groupe 22 – Lignes aériennes

1. Fondations

Rapport 22-03

Ce rapport qui traite du calcul des fondations à l'aide d'un appareil de chantier «pénévane» sert de base à une discussion très intéressante. Plusieurs orateurs répondent aux 6 questions du Rapporteur Spécial.

Question 1: L'opinion prévaut qu'il y a lieu d'utiliser tous les paramètres «pénévane» à savoir N, T_{max} et T_{min} (c.-à.-d. nombre de coups pour une pénétration donnée, le cisaillement max et le cisaillement min). Un des auteurs, dans un surcroit d'explications, précise de quelle manière l'utilisation de ces trois paramètres permet de réduire le domaine d'incertitude des valeurs calculées de l'effort d'arrachement, et augmenter de la sorte la confiance qu'on peut avoir dans les résultats. Une analyse des résultats des calculs et des essais indique une dispersion globale allant de 11 à 16 % pour les fondations à pieux et à dalle.

Question 2: EDF, après une analyse statistique de nombreux essais estime qu'une dispersion de 20 % indiquée par le Rapport Spécial est pessimiste. Si les résultats sont rapportés sur un graphique de Henry on obtient une droite, indiquant une distribution gaussienne, bien centrée sur une valeur moyenne avec une dispersion de 14 %. Cela permet de donner au projecteur de lignes des instructions précises quant aux valeurs à utiliser dans les calculs et les coefficients de sécurité à utiliser pour différents types de structures. Tout en admettant que les conditions du sol au moment des essais pénévane sont importantes, il faut reconnaître que le niveau de la nappe phréatique, la présence d'irrégularités, etc. ne sont pas particuliers au pénévane, et sont valables dans tous les cas. D'ailleurs, une vérification des remblais est toujours possible. Par ailleurs, l'étalonnage de l'appareil avait indiqué une dispersion de 5 à 9 % alors que les résultats d'essais sur fondations identiques dans des terrains soi-disant identiques donnent des dispersions de 13 % pour les pieux et 11 % pour les dalles. Donc la dispersion de l'appareil est inférieure à celle qui découle des variations des propriétés des sols à des emplacements distants de quelques mètres seulement. Il semble donc préférable d'avoir beaucoup de données, même imprécises, au moyen du pénévane que peu de données très précises par des prélèvements en chantier et analyse en laboratoire.

Question 3: Pour la reconnaissance visuelle des sols, il y a un léger désaccord: certains prétendent qu'il n'y avait besoin d'aucune initiation, alors que d'autres affirment le contraire. Il est probable qu'un entrainement sommaire serait suffisant. On fait aussi état d'une technologie de réalisation des fondations en utilisant au mieux le sol naturel par des encastrements à la base des fondations. Pour les dalles on peut obtenir dans un sol cohérent un gain de plus de 20 % sur la résistance à l'arrachement, alors que pour des pieux ce gain peut atteindre 50 %.

Question 4: Tous les pays n'ont pas été en état de trouver des corrélations satisfaisantes entre les résultats «pénévane» et les résultats d'autres méthodes d'analyse des sols.

En Grande Bretagne, on a tendance à faire davantage confiance, tout au moins pour les pieux, à des essais modèle réduit qui donnent des valeurs de friction à l'interface béton/sol. De la sorte, on a pu décider l'installation de pieux uniques par embase pour une ligne 400 000 volts, deux ternes, avec quatre conducteurs par faisceaux. Ceux-ci ont environ 760 mm de diamètre et une longueur de 7,5 à 9 m. Ils sont inclinés de 16 ° à la verticale.

Des renseignements intéressants sur la technique d'installation sont donnés.

D'autres orateurs font état de l'application des résultats «pénévane» (l'Italie entre autres) à une méthode de calcul différente de celle du rapport. Les résultats sont aussi satisfaisants.

En Grande Bretagne, un appareil identique au pénévane a été utilisé dans le passé, mais là aussi, des méthodes de calcul différentes ont été appliquées.

Des renseignements sont alors donnés sur les aspects économiques. L'EDF, à la suite d'une étude approfondie est arrivée à la conclusion qu'une réduction du prix de revient des fondations sera possible. Sur un plan beaucoup plus élargi, un délégué de Grande Bretagne confirme que des économies seront réalisables, mais elles seront minimes. Mais ce qui importe c'est que sans augmentation du prix de revient, le projeteur de lignes sera en état de calculer des fondations dans lesquelles on aura davantage confiance, surtout si on se rappelle la tendance actuelle de serrer au plus près les surcharges dûes au vent et autres conditions atmosphériques.

On fait aussi remarquer que le pénévane sera utile pour vérifier les fondations travaillant à la compression. Par ailleurs, en Allemagne on a fait des essais pour vérifier le comportement d'un pylône avec sa fondation pour définir les déplacements admissibles. Le rapport chargé d'arrachement/mouvement est important.

Question 5: Une valeur de coefficient de sécurité de 3 est suggérée pour les fondations peu profondes, car le sol est un matériau hétérogène. Cette valeur n'est pas utilisé par tous les Exploitants.

Question 6: Aucune contribution

Question 7: Bien qu'aucune valeur précise de déformation ne soit proposée, on suggère que pour les terrains pulvérulants la contrainte servira de critère, alors que pour les argiles, ce sera la déformation.

Questions 8 et 9: L'EDF fait état d'une station d'essai qui permet de mesurer les efforts appliqués aux fondations dans des conditions normales d'exploitation, surtout la réponse dynamique de l'ensemble. On a trouvé que les efforts étaient intégralement transmis aux fondations. La fréquence de réponse de l'ensemble est inférieure à 0,25 Hz. Un délégué japonais confirme cette valeur et précise que des essais et des études sont en cours sur cette question de réponse dynamique. Il proposait un concept nouveau: «la fonction de coordination d'espace».

2. Pylônes

Rapport 22-04

Questions 10 à 12: Bien que ces questions aient été traitées séparément, le résumé les considère ensemble.

Des délégués italiens confirment, qu'effectivement, les solutions de profilés spéciaux et de pylônes triangulaires mènent à des économies dans les prix de revient. Plusieurs techniques ont été étudiées pour faciliter la fabrication des pylônes avec des profilés spéciaux (par exemple: perçage des trous avant pliage ou soudure). On fait confirmer que des profilés W de 10″ × 10″ × ³/₄″ (250 × 250 × 20) sont réalisables à froid.

On fait remarquer que des sections de pylônes triangulaires avec cornières à 60 ° sont utilisées en Finlande depuis environ 40 ans. A cause de la demande, les laminoirs les produisent sans difficultés aux mêmes prix unitaires que les profilés classiques.

L'accent ayant été mis sur le caractère esthétique des pylônes ayant un nombre réduit de membrures, un délégué anglais suggère qu'il serait temps de définir des critères qui aideraient le projeteur, comme par exemple: réduction de la surface visible, réduction des surfaces à haute densité d'acier, etc. Il propose un paramètre fictif économique qui modifierait le prix de revient de la charpente en fonction de l'encombrement. Car, finalement, c'est toujours le prix de revient des pylônes qui gouverne le choix des clients. Un délégué italien confirme que des études de ce genre sont en cours et qu'il y aura des «pénalités» fictives économiques en fonction de l'encombrement.

En ce qui concerne le coût de 3 fondations par rapport à 4, pour chaque pylône, on estime que le prix de 3 fondations devrait être inférieur. Toutefois, un délégué fait remarquer que la conclusion dépend du système de charge utilisé pour le calcul. L'affirmation précédente n'est valable que pour autant qu'on réduise les charges longitudinales.

3. Conducteurs

Rapport 22-02

Question 13: La réponse à la 1re partie est précise: on possède suffisamment de connaissances pour prédire le comportement aérodynamique des faisceaux. Mais ce sont les données météorologiques nécéssaires qui feront défaut. Certaines hypothèses devront être acceptées, et on devra considérer les vitesses maximales du vent. Quant à la 2e partie de la question, on ne possède aucune donnée sur une vitesse de vent au-delà de laquelle les oscillations par turbulence ne se produiront pas.

La 3e partie, traitant surtout des longueurs des sous-portées, donne lieu à plusieurs contributions dans lesquelles on fait état des portées d'essais permettant de définir ces longueurs. Des résultats satisfaisants ont été obtenus et plusieurs fabricants d'entretoises-amortisseuses font des recommandations très précises quant au fonctionnement de ces accessoires, en fonction de certains critères faciles à quantifier.

Question 14: On pense que les entretoises-amortisseuses réduiront l'intensité des oscillations à un niveau acceptable. Toutefois, les quantités d'énergie à dissiper ne doivent pas être sous-estimées et des valeurs de 6 à 10 Watts par portée sont suggérées.

Question 15: Plusieurs délégués font état des stations d'essais utilisées ou en cours de construction. Généralement l'instrumentation est aussi poussée que possible pour permettre une analyse de tous les facteurs influençant les résultats.

Pour conclure, on a l'impression que des progrès considérables ont été réalisés dans le courant des derniers mois.

Rapport 22-05

Les questions 16 à 18 sont traitées ensemble.

Il y a divergence de vue quant à la validité absolue des essais de fatigue pulsatoires qui mènent à des ruptures de brins externes. Certains orateurs estiment que dans des conditions d'exploitation, les mouvements de flexion dynamiques causeront la rupture de brins internes.

On fait aussi état d'une campagne d'analyse de défauts observés en Australie, qui fait ressortir l'importance du type de surface de terrain (plutôt que du terrain lui-même) et de la hauteur des conducteurs au-dessus du sol. Il apparaîtrait aussi que le vieillissement des conducteurs réduit leur capacité d'amortissement et de dissipation d'énergie.

Question 19: Sans donner de valeur concrète, on fait remarquer que la conception de la pince de suspension est d'importance capitale. La plupart des ruptures de brins ont lieu à la sortie de la pince.

Question 20 et 21: Il y a désaccord sur l'importance des contraintes de traction dans les conducteurs. Certains pensent qu'une augmentation de ces contraintes réduit les propriétés de dissipation d'énergie des conducteurs et par conséquent, ceux-ci seront soumis à des intensités vibratoires plus intenses donc, dangers d'avarie. Les analyses des avaries en Australie jettent un doute sur cette opinion. Le GT4 continuera ses études sur ce sujet. Toujours dans le même ordre d'idée, on met en question les valeurs d'EDS normalement utilisées. Une comparaison des flèches et des efforts dans les câbles alu-acier et dans les câbles en alliage d'aluminium illustre clairement les sujetions économiques d'une réalisation basée sur une valeur identique de l'EDS. On propose que le paramètre des flèches soit utilisé de préférence donnant lieu à des EDS plus élevés dans l'alliage d'aluminium, mais permettant des économies significatives dans le prix de revient des lignes. Ces considérations ont conduit EDF a normaliser leurs lignes futures avec des conducteurs en alliage.

4. Calcul des lignes à l'aide d'ordinateurs

Rapport 23-11

Bien qu'alloué au groupe 23, ce rapport traite aussi des lignes aériennes et on estime qu'au moins une présentation du sujet est justifiée au sein du groupe 22.

ENEL a déjà atteint un stade assez avancé du calcul des lignes à l'aide d'un ordinateur. En introduisant dans la machine une gamme d'éléments interchangeables bien que calculés pour des conditions d'utilisation différentes, l'ordinateur fait un choix correspondant à des critères fixés d'avance. Une normalisation est parfaitement possible. L'ordinateur, au stage final, prépare les documents nécessaires au chantier, aux autorités et pour la commande des matériaux. A titre d'exemple, en une heure, la machine produit 120 km de profil en long, soit environ 5 mètres de papier. Plusieurs orateurs confirment les avantages d'une telle technique et annoncent qu'ils s'en servent déjà, bien qu'à un degré inférieur. Néanmoins, il ne faut pas sous-estimer la nécéssité de vérification des données de sortie.

Groupe 23 – Postes

Les discussions ont été divisées en quatre groupes principaux:

a) Emploi de calculateurs pour la construction de postes.

L'emploi de calculateurs pour la construction de postes a été discuté pour la première fois au sein de la CIGRE. Il semble qu'à l'avenir, cette possibilité sera de plus en plus utilisée. Une crainte exprimée par le rapporteur spécial concernant une entrave au développement de postes de par l'obligation de l'emploi de pièces normalisées s'est avérée non justifiée. Les auteurs des programmes sont conscients de ce problème.

b) L'adaptation des postes à leur environnement.

De très belles solutions ont été montrées, entre autres un poste en Allemagne, le poste de «couture» d'EDF et un poste en Suède. Ces exemples montrent qu'avec de la bonne volonté, il sera toujours possible de construire des postes plaisants. Le problème majeur sera toujours l'arrivée des lignes haute-tension.

Concernant le bruit, la discussion s'est portée sur des détails de construction des transformateurs et des disjoncteurs, certes, les deux plus grands fautifs concernant la production du bruit. Ici aussi, spécialement en ce qui concerne les transformateurs, de très jolies solutions ont été montrées (enveloppes directes sur les transformateurs). Toutefois, ce qui n'est peut-être pas assez ressorti aujourd'hui, la disposition adaptée des postes en vue d'en améliorer l'aspect visuel entraîne automatiquement aussi une amélioration du bruit. Il est ressorti clairement que la mesure du bruit n'est pas éclaircie pour le moment, car l'oreille humaine réagit autrement que les appareils de mesure (dB/A) les plus raffinés. Par exemple, l'enclenchement et le déclenchement d'un disjoncteur ne sont – même avec une intensité identique à la mesure – pas ressentis de la même façon par l'oreille humaine.

Le Comité d'Etudes N° 23 a accepté la mission de poursuivre des études approfondies à ce sujet.

c) Influence du champ électrique sur le corps humain.

Les avis des différents orateurs sont complètement divergents. Des essais faits aux USA (Hopkins University Hospital) et au Canada n'ont pas démontré d'effets néfastes. Toutefois, il ressort que des recherches supplémentaires doivent être faites et le Comité d'Etudes N° 23 devra s'occuper de ce problème sur une échelle internationale avec l'appui compétent de médecins.

d) Installations blindées.

Environ 35 contributions sur ce sujet ont touché toutes les 10 questions du rapporteur spécial. Un intérêt tout spécial s'est porté sur les questions des essais, de l'étanchéité, des dispositifs de mise à la terre, des interrupteurs des charges ainsi que sur la question d'une construction à l'extérieur ou à l'intérieur. Beaucoup de détails ont été discutés et il n'est pas possible de trouver d'ores et déjà une ligne commune pour toutes ces questions. Ce serait trop long d'en mentionner toutes les divergences dans ce résumé.

Les problèmes sont du domaine du Comité d'Etudes N° 23 et des fabricants et beaucoup de travail devra être encore accompli avant que l'on puisse se retrouver sur une base commune.

Groupe 31 – Réseaux de transfert

Le premier sujet préférentiel se résume ainsi: «Poursuite des recherches et résultats portant sur la détermination des niveaux futurs de tensions alternative et continue.» L'amélioration des techniques et des moyens d'étude employés pour la détermination des caractéristiques de dimensionnement de la tension et de l'isolement, en tenant compte de ce que les méthodes actuelles donnent un résultat par trop conservateur augmentant ainsi les prix de revient des réseaux.

En partant de deux rapports (l'un sur l'introduction des réseaux 400–500 kV en Inde, l'autre sur un projet de réseau à 750 kV en Suède) le Rapport spécial généralise quatre questions importantes sur lesquelles la discussion a fait ressortir un large assentiment.

1.1 On a estimé que le domaine d'études le plus vaste devrait être l'évaluation des prix de revient pour des niveaux différents de tension, y compris dans le cas des pays en voie de développement une évolution des capacités de développement des régions qui ne participent pas actuellement à la croissance du pays. Deux orateurs en particuliers ont insisté sur le fait que le domaine d'études doit dépasser le cadre des frontières nationales et économiques, qu'il faut mettre un terme à l'«autogouvernement» des entreprises individuelles et des pays, et que les niveaux futurs d'ultra hautes tensions doivent être acceptés par des régions entières, et, par exemple, il faudrait un choix européen (à l'échelle de l'Europe) pour tout le continent.

1.2 Il y a également accord général sur le fait que les prochaines tensions étudiées devraient connaître une période d'exploitation aussi longue que possible (quelque 20 ou 30 ans, même si cela est difficile), en particulier pour les réseaux maillés. Deux orateurs ont fait remarquer que dans les études faites dans leur pays pour le Comité d'Etudes de ce groupe 31, on a trouvé que l'évalution sur une longue période implique le choix d'une tension supérieure à ce qu'on pourrait justifier pour une durée plus courte, même si l'on estime que la différence entre 2 alternatives peut maintenant apparaître négligeable. Mais des facteurs intangibles tels que l'influence sur l'environnement, la souplesse de l'exploitation et de la planification font pencher la balance en faveur d'un niveau de tension plus élevé.

1.3 Sur un point étroitement lié à ce qui précède, les orateurs sont tombés d'accord sur le fait que l'évaluation des solutions alternatives doit inclure le développement du réseau actuel, comme s'il se développait en tant que partie intégrante du réseau superposé considéré. Sinon, on peut obtenir des résultats tout à fait différents en ce qui concerne les coûts et le fonctionnement, en particulier en raison des différences dans les postes de transformation et les branchements des prochaines centrales génératrices.

Un orateur a demandé de ne pas répéter «l'erreur» qui avait été faite dans le passé dans certains pays, d'installer une tension très légèrement plus élevée comme étage intermédiaire en attendant que se justifie, d'après les analyses traditionnelles économiques, le besoin de passer à un niveau nettement plus supérieur. Il pensait qu'il valait mieux, par exemple, continuer à développer un réseau de 400 kV déjà en place jusqu'à ce qu'on puisse démarrer le 1000–1100 kV, plutôt que de prendre l'option intermédiaire de 765 kV.

1.4 La discussion a renforcé l'opinion que la stricte évaluation économique pour les niveaux futurs est déjà dépassée par le fait que les usines génératrices doivent généralement maintenant être soumises aux impératifs écologiques et sociaux, ce qui a pour résultat d'augmenter l'éloignement des centres de charges, et, dans certains cas, de créer de très grandes concentrations de MW. On a dit que de plus grands transports d'énergie favorisent grandement la transmission par UHT.

Un orateur a ajouté que ceci restait vrai même dans son pays malgré le fait que le transport d'énergie sous la forme du charbon coûtait moins cher que le transport d'énergie électrique. Dans le même ordre d'idée, un autre délégué a fait remarquer que bien qu'un réseau UHT ne soit que légèrement chargé au début, s'il était introduit trop tôt, il y aurait justification à le réaliser en raison des difficultés toujours croissantes pour obtenir des droits de passage même aux tensions présentes, cette considération étant un facteur critique dans la décision.

1.5 Il y a eu divergence d'opinion en ce qui concerne les points suivants:

a) le coût unitaire des transformateurs et de l'appareillage de coupure augmenterait-il nécessairement avec les niveaux UHT?

b) Un niveau suivant inférieur, par exemple 1100 kV au lieu de 1500 kV, serait peut-être justifiable si on pensait que l'avantage le plus important des réseaux UHT serait une réduction dans les réserves de génération et non leur capacité accrue de transport d'énergie.

c) Un orateur a pensé que les possibilités à courant continu HT n'étaient pas suffisamment explorées et étaient abandonnées trop tôt dans les études. Ceci était surtout valable pour les pays en voie de développement où on pourrait ainsi surmonter les problèmes de stabilité inhérents au transport à longue distance en alternatif.

1.6 Aucune réponse très précise n'a été donnée à la question, à savoir si on pouvait déjà choisir et normaliser la meilleure tension future. Le Président, exprimant une opinion personnelle, a souhaité que la normalisation ne prenne pas la voie suivie dans le passé – il y aurait lieu de spécifier clairement la tension *maximale* pour les fournisseurs de l'équipement. Quand les exploitants d'un premier réseau a cette tension auraient acquis quelqu'expérience, ils pourraient déterminer des valeurs marginalement inférieures. En fait, cette façon d'agir pourrait éviter toute la controverse passée au sujet des normes et l'utilisation de la tension «nominale».

1.7 Le Rapport spécial, se basant sur cinq des rapports, a attiré l'attention sur les facteurs influençant la conception des lignes et a présenté les paramètres critiques, pour des tensions de 765 kV à 1500 kV, en ce qui concerne: les distances à la masse et au sol; les impositions dûes à la pollution des isolateurs; les niveaux des surtensions de manœuvre; les perturbations radiophoniques et audibles; ainsi que les effets d'induction électrostatique. Deux des rapports ont donné des résultats obtenus par deux projets de recherches; un autre rapport contient des renseignements additionnels sur les ondes dûes aux surtensions de manœuvre sur un réseau exploité à 765 kV, et deux autres ont traité des paramètres de calcul pour 1200 kV en URSS et une étude commune pour 1050 kV et 1300 kV par des ingénieurs italiens, français et britanniques.

1.8 Malgré un certain désaccord sur les valeurs particulières des distances entrephases en fonction du niveau des surtensions de manœuvre et le degré de linéarité ou non-linéarité de l'isolement en fonction de la longueur des chaînes d'isolateurs pollués – dévoilant de la sorte une lacune dans le programme de recherche UHT – il y a eu presque accord complet sur les influences relatives de tous ces paramètres pour la calcul des lignes UHT.

1.9 Le bruit audible et l'intensité du gradient de potentiel au niveau du sol restent toujours des facteurs critiques bien que leur importance semble être différente en fonction des situations particulières de chaque pays.

Un niveau de 60 dBA était acceptable, pour certains, en conditions de pluie, mais généralement, on a pensé que ce niveau était trop élevé. On a suggéré, qu'au lieu d'utiliser des conducteurs non conventionnels qui satisferaient aussi les critères néces-

saires mécaniques et aérodynamiques – et dont on ne dispose pas encore – on pourrait installer des faisceaux plus importants ou même utiliser des techniques spéciales, mais seulement dans les cantons de ligne voisins des régions à haute densité de population, évitant de la sorte les frais consécutifs à une telle solution pour toute la ligne. (Un délégué a annoncé qu'il avait obtenu des réductions très appréciables dans le niveau du bruit audible en laboratoire au moyen d'une technique qu'il exposerait au groupe 36.)

Pour certains, un gradient d'environ 14 kV/m au niveau du sol semblait admissible, alors que d'autres estimaient qu'un tel gradient donnerait lieu à des courants induits de l'ordre de 5 à 6 mA pour les véhicules les plus importants. Ceci n'était pas acceptable car de tels courants étaient à la limite du niveau de «relâchage» pour des enfants. Des opinions différentes ont été exprimées sur la nécessité de réduire ces effets – par exemple à 5 kV/m et environ 2 mA – par une augmentation de la hauteur des lignes et l'installation de câbles de garde au-dessous des conducteurs. Un orateur a fait remarquer que les effets physiologiques d'exposition à des champs électriques étaient encore très mal connus et qu'il y aurait lieu de conduire des recherches médicales plus approfondies.

1.10 En réponse à une question du Rapport spécial, un orateur a présenté une étude préliminaire pour une ligne aérienne non-conventionnelle à 1050 kV, utilisant comme conducteur un tube auto-porteur, ou des éléments de tube supportés par un câble interne maintenu au-dessus du sol par des structures isolantes haubannées similaires à des isolateurs de postes. Bien que les coûts comparatifs avec une ligne de transport conventionnelle étaient de l'ordre de 1.7 à 2.1 fois plus grands, la majeure partie de cette augmentation était due aux structures isolantes et non au prix des droits de passage qui pourraient être achetés et protégés par des palissades. Le coût additionnel pourrait bien être réduit considérablement par l'emploi d'isolements nouveaux, de sorte qu'il n'y avait pas lieu de prendre cette idée à la légère. Les commentaires ont fait ressortir l'opposition probable du public à un corridor protégé par des palissades et des grillages. Un autre orateur pensait que la solution courant continu à UHT serait meilleure, car les effets d'induction électrostatique seraient plus faibles et il n'y aurait aucune induction électromagnétique en régime normal. Il pensait que les frais résultant des mesures de protection contre les effets d'induction augmenteraient d'une manière excessive le coût des lignes UHT en courant alternatif.

Un traitement encore moins conventionnel a été aussi proposé. Il s'agirait d'utiliser plus de 3 phases. Il en résulterait:

a) une augmentation considérable en efficacité en comparaison avec 3 phases, où, en principe 95 % de la puissance sont transportés par environ 5 % du volume d'air dans le voisinage immédiat des guides métalliques des conducteurs,

b) une réduction significative dans les gradients superficiels des conducteurs,

c) une utilisation bien meilleure de l'air en tant qu'élément isolant. Quoique cette idée ait été présentée, pour le moment, comme un exercice pour stimulation mentale, il se peut qu'elle ne doive pas être rejetée trop à la légère – il y aurait lieu de se souvenir de la situation assez récente en ce qui concerne les opinions au sujet du transport cryogénique ou de la production d'énergie par fusion atomique.

1.11 L'auteur de ce résumé se permet d'enfreindre la coutume qui consiste à ne pas nommer les orateurs, car il souhaite faire une exception pour M. Philip Sporn qui prit la parole à la fin de cette partie de la Session. M. P. Sporn en a profité pour rappeler brièvement les bases de la conception et de la philosophie des réseaux de transport électriques, qui devraient être encore valables malgré les réactions opposées du public dans cette «crise énergétique». Les principes de base étaient:

a) l'énergie est indispensable pour la vie elle-même,

b) la fiabilité d'un réseau de transport est une caractéristique essentielle – la nécessité de débrancher des charges, les réductions de tension, etc. ... étaient opposés à ce principe,

c) il doit y avoir compatibilité avec l'environnement et l'énergie électrique est indispensable pour atteindre ce but,

d) la frugalité doit être maintenue – autrement dit, les prix de vente au public doivent être aussi bas que possible,

e) ces quatre principes doivent être satisfaits simultanément.

2. Le deuxième sujet préférentiel était: «l'influence de la conception des éléments constitutifs sur les aspects économiques de la disponibilité, fiabilité et sécurité des réseaux de transport.»

Pendant la discussion des deux rapports dont l'un propose un modèle statistique nouveau menant à une optimisation technique et économique tout autant des caractéristiques des éléments constitutifs et des voies de transport, que des moyens de connections des postes pour un niveau de 1000 kV en Italie, on a eu la confirmation du besoin du traitement de la fiabilité d'un système dans son ensemble. Bien souvent, ce n'étaient que des éléments du système qui étaient étudiés séparément et la «sommation» des évaluations séparées des fiabilités ne donnait pas toujours le degré de confiance pour la fiabilité du système en tant qu'unité dynamique.

On a suggéré que le coût des pertes, qui était fonction de la durée d'indisponibilité, ou de la durée d'avarie, devrait être mieux évalué et pris en considération, car le coût des pertes en kW n'était pas toujours proportionnelle à cette durée pour tous les types de charge. Par exemple, pour les charges industrielles, cette proportionnalité pourrait bien ne pas exister. Par ailleurs, il y aurait lieu de rechercher de meilleurs modèles atmosphériques.

Groupe 32 – Planification et exploitation des réseaux

71 interventions sont prévues. Quarante environ se rapportent au sujet préférentiel n° 1, le reste concerne le sujet préférentiel n° 2, certains aspects du sujet préférentiel n° 3 étant regroupés avec ce dernier.

Pour la discussion, les interventions se feront suivant le plan du Rapport spécial, certains regroupements ayant néanmoins été effectués par raison d'homogénéité.

1. Application des calculateurs à la programmation, à la surveillance et au réglage de l'exploitation des systèmes énergétiques.

Questions 1 et 2: Ces questions portent essentiellement sur l'estimation de l'état des réseaux et l'identification dynamique en ligne du réseau. La plupart des orateurs reconnaissent que l'estimation exacte de l'état du réseau nécessite un grand nombre de données et par conséquent des équipements extrêmement performants. Néanmoins, l'accord n'est pas unanime sur la rentabilité actuelle globale de ces équipements.

Le problème de la recherche des «indicateurs d'état» a été souvent abordé et certains orateurs ayant insité sur l'importance de cette notion qui permet de synthétiser les informations nécessaires et suffisantes à communiquer à l'opérateur de réseau. La question de l'élimination des données non certaines semble assez bien résolue actuellement, des exemples concrets précisant certaines particularités des méthodes employées. Pour ce qui est de l'identification dynamique en ligne du réseau, de réels progrès ont été effectués puisque l'on est sur le point de disposer de modèles qui peuvent être utilisés pour la détermination de certains paramètres du réseau. Cette question, beaucoup plus complexe que la précédente, oblige à procèder par étapes et à représenter certaines parties du réseau par des équivalents dynamiques.

Questions 3 et 4: Ces questions concernent la sécurité en ligne en régime permanent et les relations entre la programmation économique et la sécurité.

Les techniques liées aux méthodes topologiques semblent représenter une aide précieuse pour la définition et l'étude des problèmes de sécurité en ligne ainsi que pour la préparation des réactions automatiques. Elles présentent en effet l'avantage de permettre un certain nombre de simplifications qui réduisent les dimensions du système à résoudre.

Il est rare que la dualité «sécurité-économie» soit prise en compte de manière satisfaisante par les programmes de calcul qui axent le plus souvent leurs préoccupations majeures sur l'un ou l'autre aspect de cette dualité. L'ensemble des interventions confirme ce point. Certaines limitations de l'exercice de «programmation économique» exposées dans le Rapport 32-19, telles la

prise en compte simplifée de la réserve tournante ou les disponibilités en combustibles sont soulignées par de nombreux orateurs. M. le Rapporteur spécial souligne à ce sujet qu'il s'agit là d'un premier exercice conduit en collaboration internationale et que, naturellement, il demande à être poursuivi dans le sens d'une meilleure représentativité du modèle.

Enfin, la question de la répartition des tâches de calcul entre petits ordinateurs locaux et grosses unités centrales a été abordée sans toutefois qu'une réponse unanime ait été apportée.

Question 5: Cette opération porte sur l'évaluation de la sécurité dynamique et de la stabilité. On peut dire que les méthodes d'approche de la stabilité dynamique ont fait des progrès importants ces dernières années, grâce à la combinaison des possibilités de calcul accrues des ordinateurs et des méthodes d'étude dynamiques des systèmes non linéaires (développement des méthodes de Lyapounov). A l'opposé des méthodes «pas-à-pas» jusqu'alors employées pour les réseaux de taille normale, on peut parvenir ainsi à une connaissance synthétique et globale des limites de stabilité qui sont très utiles par exemple, pour comparer différentes circulations voisines ou différentes configurations de réseaux. Les réductions de temps de calcul sont très sensibles.

Une intervention insiste sur le fait que pendant la durée d'un court-circuit sur une ligne aérienne en faisceau, les déplacements relatifs des conducteurs du faisceau (dus aux efforts électrodynamiques) modifiaient les impédances des lignes et semblent avoir, par suite, une influence sensible sur les limites de stabilité. Enfin, une méthode de réduction de réseaux est présentée; elle permet de simplifier la représentation des zones éloignées du défaut et rend davantage possible l'étude générale de la stabilité dans les centres de conduite.

Questions 6 et 7: Ces questions ont trait aux communications entre l'opérateur et l'ordinateur ainsi qu'aux tâches de réglage automatique en ligne au dispatching central.

Les interventions font état de l'utilisation de tubes à rayons cathodiques, éventuellement en couleur, avec des crayons lumineux parfois associés à des touches sur clavier. La tendance est actuellement à la mise au point de languages plus élaborés permettant une programmation plus aisée et un gain de temps. Les questions de language pour les ordinateurs ne semblent donc pas poser de problèmes particuliers. Par contre les tâches de réglage automatique effectuées par l'ordinateur sont au tout début de leur développement et les progrès accomplis dans ce domaine sont plutôt faibles.

Pour ce qui est du réglage adaptatif, de nombreux orateurs en rappellent le principe. Il est précisé qu'un réseau va modifier le réglage secondaire fréquence-puissance actuel pour introduire des actions de réglage diversifiés tant dans le temps que dans l'espace, retrouvant d'assez près les intentions de réglage adaptif. Cette diversification ne posera pas de problèmes de réalisation, étant donné la présence, dans les dispatchings, d'ordinateurs de contrôle.

Les années à venir verront très certainement de nombreux progrès dans ce domaine.

Questions 8, 9 et 10: Ces questions sont relatives aux autres domaines d'application des ordinateurs: réglage hiérarchisé de la tension (réglage régional secondaire), réglage de l'excitation des alternateurs et protection de réseaux par mini-calculateurs.

L'ensemble des interventions sur ces questions indique une concordance d'opinions assez générale, mais les nombreux essais et recherches en cours dans de nombreux pays ne permettront de confirmer les résultats escomptés que dans les années à venir et les applications envisagées semblent être du domaine du futur.

Au sujet des réglages secondaires des tensions, certains orateurs ont insisté sur le fait que la localisation des possibilités de réglage en puissance réactive devait être étudiée dès la conception du réseau. Il est essentiel de voir que les ordinateurs doivent être adaptés aux problèmes de planification et qu'il ne faut pas tenter de trouver des justifications à leur emploi. Ceci est vrai pour ce qui est du réglage de la tension et de la puissance réactive en ce sens que l'impératif fondamental est une bonne planification du réseau. Néanmoins, l'emploi de calculateurs est possible et justifié, indépendamment des solutions traditionnelles ou nouvelles (capacité ou réactance saturable). En fait, pour les auteurs du Rapport 32-03 sur le réglage secondaire de tension, il est normal de chercher à exploiter d'abord les possibilités de fourniture ou d'absorption des matériels existant déjà sur les réseaux, c'est-à-dire les machines tournantes. Par ailleurs, l'optimisation des puissances actives et réactives ou de la tension et de la puissance réactive sur la base de pertes minimales en ligne ne paraît pas économiquement justifiée.

Le Rapport 32-05 sur la commande numérique optimale en temps réel des systèmes d'excitation des générateurs fait le point sur les applications des mini-calculateurs dans ce domaine.

Certains problèmes restent néanmoins à étudier, en particulier le réglage à plusieurs machines. S'il est facile, en effet, d'établir un modèle pour une machine, dans la réalité il s'agira d'un réseau multimachine et l'effet de ce réseau est tel qu'une situation présumée bonne dans un cas peut ne plus l'être dans les autres.

En conclusion, des études prometteuses sont en cours dans le domaine des applications des mini-calculateurs; elles sont orientées non seulement vers le réglage d'excitation des alternateurs, mais encore vers le réglage de la tension et de la puissance réactive.

2. Discussion libre sur le présent et le futur des ordinateurs de réseaux en temps réel.

Les questions soulevées par M. le Président concernant les prévisions d'avenir en matière de répartition des tâches entre ordinateur et opérateur ont donné lieu à des échanges extrêmement intéressants et ont permis de mettre en lumière des différences d'opinion. En général, les représentants de réseaux de taille relativement restreinte, comme ceux que l'on rencontre en Europe de l'Ouest, sont optimistes et envisagent sans restriction de confier dans les années qui viennent des responsabilités de décisions et d'exécutions aux ordinateurs de conduite (records de charge, démarrage des groupes de pointe, modifications de structure ...). Par contre, les représentants de réseaux plus étendus sont plus réservés étant donné la complexité de leur organisation et l'influence importante des réseaux interconnectés voisins.

Les grandes orientations qui semblent se discerner vont dans le sens de la conduite du réseau depuis le dispatching par l'ordinateur, l'opérateur, dégagé de la responsabilité de décisions élémentaires, se consacrant uniquement à la conception.

3. Philosophie de la planification des systèmes énergétiques et critères de sécurité.

Questions 11 et 12: Pour ce qui est des méthodes de calcul de la fiabilité des centrales, des réserves sont faites quant à l'existence d'une corrélation entre la taille des centrales et leur fiabilité peut-être, du fait que les unités importantes font appel à des techniques «moins mûres». En particulier, il est préférable de ne pas trop attendre des statistiques d'éléments existants, mais il faut au contraire en obtenir de meilleures et ceci au niveau de la conception des centrales. Les méthodes de calcul de fiabilité ont un intérêt fondamental, pour beaucoup, en ce qu'elles signalent le rôle prépondérant d'un élément par rapport à un autre dans le réseau et indiquent les moyens d'augmenter la fiabilité d'ensemble.

Dans l'ensemble, la méthode de Markov est très utilisée. Un orateur présente une amélioration de la méthode de Monte-Carlo qui permet de comparer des structures même si les données ne sont pas établies.

Pour ce qui est de la prévision de charge, les opinions exprimées sont nombreuses et conclues à la validité des modèles «sectoriels» pour les prévisions à long terme. Il est reconnu que les corrélations entre les prévisions de charge et les donnés économiques nationales (PNB, développement industriel ...) conduisent à des modèles économétriques. Finalement, il est fondamental d'améliorer les prévisions afin d'évaluer l'effet des erreurs sur les marges de réserves.

Questions 13 et 14: Ces questions ont trait aux critères de sécurité et aux critères des variantes du plan.

En ce qui concerne les critères de sécurité, les discussions ont montré clairement les deux approches: déterministe et probabiliste avec une tendance à retenir le critère de stabilité comme critère principal surtout pour les réseaux à ligne longue. L'ana-

lyse déterministe ne vient en général qu'après l'analyse probabiliste afin de vérifier certaines structures particulières. Les méthodes probabilistes sont devenues plus complètes, les programmes sont plus complexes (dispatching de la puissance réactive ...), la planification globale étant basée sur l'estimation probabiliste de l'énergie non distribuée.

Certains auteurs attirent l'attention sur l'intérêt des indices dynamiques, car le choix de la production et du transport est affecté par de tels indices. Le calcul de ces indices se fait à l'aide d'expressions de plus en plus complexes, mais l'ordinateur peut assumer cette tâche.

Enfin, d'autres approches semblent possibles à partir d'autres algorithmes, mais il faudra attendre leur application au réseau réel. Il est mentionné également que le problème sécurité/planification pourrait être totalement repris par suite de l'apparition des réactances saturables. D'autres études sont encore nécessaires pour déterminer l'action d'éléments non linéaires sur un réseau complexe.

Question 15: Cette question porte sur la planification des systèmes hydrothermiques.

Les interventions sur ce point confirment l'opinion exprimé dans le Rapport 32-16 quant à l'importance d'un suréquipement des usines hydrauliques, l'avantage étant une amélioration de la planification (tant sous l'aspect sécurité que coût). Des exemples fournis montrent clairement la relation entre la mauvaise hydraulicité et les indices de risque. Ceci devrait conduire à des programmes encore plus élaborés préférables aux modèles utilisés. Par ailleurs, les modèles présentés sont tous probabilistes, ce qui était attendu. On constate que les besoins de simulations détaillées de l'emploi optimal de l'eau ne sont pas ressentis. Les résultats dépendent quelque peu du pourcentage d'énergie hydraulique qui a été admis.

Par ailleurs, l'optimisation de l'utilisation de l'eau conduisait à des temps de calcul prohibitifs. Pour cette raison, les programmes décrits par les orateurs n'incluent pas de nombreuses usines hydrauliques. Pour ce qui est des interconnections, leur intérêt paraît évident, et il serait souhaitable de mettre au point une méthode d'évaluation de gain attendu. Ce problème surgira dans le futur au niveau des interconnections européennes.

Question 16: L'auteur du Rapport 32-04 précise que l'arrêt des liaisons de télécommunication entraîne la perte de la liaison et qu'un dispositif redondant est nécessaire. Un système de réglage par limitation de tension est applicable aux interconnections multiterminales en courant continu.

Groupe 33 – Surtensions et coordination de l'isolement

1. Surtensions de manœuvre

(Rapports 33-01, 33-05, 33-07, 31-09, 31-11, 13-03, El. 01.)

1.1 Compteurs d'impulsions installés en exploitation

Des informations supplémentaires sur la corrélation entre les enregistrements d'un compteur d'impulsions et les enregistrements d'un compteur de coups de foudre ont été fournies. Les compteurs d'impulsions connectés à la ligne ont enregistré 1 % de la totalité des enregistrements des compteurs de coups de foudre.

Il a été proposé d'utiliser ce fait pour distinguer les surtensions de manœuvre des surtensions atmosphériques.

Cette distinction a été jugée nécessaire et pour les surtensions de manœuvre sur les lignes, il a été demandé de distinguer également les surtensions provoquées par différentes manœuvres (différents risques de défaillance acceptables).

Des progrès ont été réalisés dans le perfectionnement des appareils enregistreurs qui donnent non seulement les grandeurs des surtensions mais également leur durée et les formes d'onde.

Un compteur digital appelé kéraunographe et des oscillographes à vitesse élevée avec fonctionnement autonome ont été mentionnés. Afin de comparer les résultats obtenus avec différents compteurs, il serait important de normaliser la limite du seuil à utiliser.

1.2 Grandeurs des surtensions de manœuvre, formes d'onde et courbes de distribution

Des valeurs élevées de tension ont été données pour le réenclenchement monophasé avec disjoncteur sans résistances incorporées.

Le Groupe de Travail mixte n° 13-03 commun aux CE 13 et 33 a rassemblé environ 50 rapports internes ou internationaux traitant des surtensions de manœuvre dans les réseaux à très haute tension et en ont analysé les données au moyen d'un calculateur numérique.

Les résultats préliminaires de cette analyse des surtensions de manœuvre des lignes ont été exposés au cours de la réunion. Les facteurs de surtensions de manœuvre peuvent être maintenus entre 1,5 et 1,8 dans tous les cas où des procédés de réduction ont été utilisés et les surtensions à fréquence industrielle entre 1,1 et 1,2 p. u. Avec le réenclenchement triphasé la valeur de 1,6 ne sera pas depassée dans de nombreux cas (1,4 pour un enclenchement monophasé).

L'importance de tenir compte des surtensions dues à l'apparition et à l'élimination d'un défaut a été soulignée pour le cas où la valeur de la surtension relative est égale ou inférieure à 1,6 p. u.

Les surtensions dues à l'élimination d'un défaut peuvent être limitées à l'aide de résistances d'ouverture dans le disjoncteur (entre 400 et 1000 Ω), mais les surtensions dues à l'apparition d'un défaut ne peuvent l'être qu'en changeant les caractéristiques du réseau. Dans ce dernier cas on peut relever des valeurs atteignant 1,6 p. u. sur les phases saines.

Une méthode simplifiée pour le calcul des surtensions de manœuvre (voir le numéro de mai d'Electra) a été indiquée et une remarque importante a été faite concernant la distribution statistique des amplitudes de surtensions lors de l'enclenchement d'une ligne. La distribution n'est pas uniforme et il faut en tenir compte dans le calcul du risque de défaillance sur des lignes à UHT. Il n'a pas été possible de se mettre d'accord sur le choix de valeurs représentatives des temps de montée à la crête des surtensions de manœuvre. Les temps de montée à la crête dépendent du type de manœuvre et de la configuration du réseau. Par exemple, au moment de la mise sous tension des lignes à partir d'un réseau complexe, des «pointes» se produisent ayant des temps de montée à la crête faibles de l'ordre de 100 μs. La conclusion du rapport 33-05 est donc confirmée.

Une nouvelle proposition a été faite pour une meilleure évaluation de la forme des surtensions réelles, c'est-à-dire du temps de montée à la crête équivalent défini comme le temps de montée jusqu'à un niveau compris entre le niveau 90 % et la crête (niveau 100 %) de la surtension. Lorsque les surtensions de manœuvre sont limitées à 1,6 p. u. au moins, un certain nombre de demi-cycles de l'onde transitoire peuvent avoir la même grandeur, mais leurs formes sont différentes. Ceci influence la probabilité de contournement de l'isolement de la ligne.

La loi de Gauss ne constitue pas toujours une approximation acceptable de la distribution de la fréquence des surtensions de manœuvre. Il est apparu sur ce point un accord presque général. Il n'a pas été possible de tirer des conclusions quant à la loi qui convient le mieux. Il a été conseillé de ne pas limiter les études uniquement à la gamme de probabilité la plus faible (tensions plus élevées). Il faudrait aussi tenir compte des préamorçages dans l'estimation de la courbe de distribution sur un analyseur de réseau transitoire.

1.3 Rapport entre les surtensions de monœuvre et les surtensions temporaires

Le rapport minimal acceptable entre les surtensions de manœuvre et les surtensions à fréquence industrielle tend à être une fonction de la grandeur absolue de ces dernières. Des valeurs comprises entre 1,02 et 1,55 ont été citées dans les cas où les surtensions de manœuvre sont très réduites mais compte tenu des surtensions dues à l'apparition d'un défaut et des surtensions transitoires de délestage, ce rapport ne devrait pas dépasser 1,2 à 1,3. Avec d'aussi faibles valeurs nous approchons des conditions où les surtensions temporaires deviennent le paramètre déterminant pour le dimensionnement de l'isolation.

1.4 Mise sous tensions des transformateurs

Les surtensions dues à la mise sous tension des transformateurs décrites dans El. 01 posent toujours, dans certains réseaux, des problèmes qui ne sont pas suffisamment résolus. C'est également ce que montre le rapport 31-09.

Un orateur a fait remarquer que ce type de surtensions impose des exigences sévères aux parafoudres montés à l'extrémité de la ligne et aux bornes du transformateur et a demandé que des moyens de réglage soient mis à l'étude.

2. Surtensions temporaires et parafoudres

(Rapports 33-04, 33-07, 33-08, 33-12, 33-14, 33-11.)

2.1 Classification, grandeurs, formes d'onde et durée des surtensions temporaires

Tous les orateurs ont approuvé la classification des surtensions temporaires proposée dans le rapport 33-12; seul un expert a voulu subdiviser les surtensions à 50 Hz en deux sous-groupes; symétrique et asymétrique. Quelques nouveaux résultats d'essais ont été présentés; ces résultats concordent avec le rapport 33-12. Des réactances shunt avec noyau de fer saturé ont été expérimentées afin de limiter les surtensions temporaires et se sont révélées efficaces.

2.2 Utilisation des parafoudres

Il est de la plus grande importance, pour estimer l'influence d'une surtension temporaire sur un parafoudre, de posséder (en plus des paramètres indiqués au paragraphe 2.1) des informations sur l'impédance du circuit parcouru par la tension temporaire.

A propos de la question de savoir si le parafoudre doit être utilisé comme première ou deuxième ligne de défense, un expert a demandé que ces termes soient définis de façon plus précise. Selon un autre expert, les parafoudres dénommés: «limiteurs de surtensions de résonance» peuvent être utilisés comme première ligne de défense. L'opinion dominante était que la philosophie de la «deuxième ligne de défense» est la plus réaliste. Elle permet de réduire le prix de revient des parafoudres et assure une plus grande fiabilité de service de tout le réseau.

On a fait remarquer que les méthodes pour l'évaluation de l'interaction entre parafoudre et réseau devraient être généralisées mais avec beaucoup de précaution. Une représentation précise des caractéristiques du bloc des valves et de l'éclateur est nécessaire et il faudra par conséquent que les constructeurs fournissent des informations sur ces paramètres.

2.3 Les procédures d'essai des parafoudres

Un circuit d'essai pour la détermination des performances d'un parafoudre pendant le passage simultané de surtensions temporaires et de manœuvre a été décrit et ses paramètres ont été discutés. Quant aux surtensions temporaires minimales acceptables et aux niveaux de protection maximaux des parafoudres convenant au domaine des UHT, il a été précisé qu'il n'était pas possible de donner des chiffres d'ensemble. A chaque cas correspondent des caractéristiques particulières qu'il faut préciser. Au sujet des nouvelles définitions statistiques proposées dans le rapport 33-08, un expert a exprimé l'espoir que ces définitions soyent à l'avenir exprimées en fonction des tensions et surtensions de réseau. Le principe exposé dans le rapport pourrait conduire à la nécessité d'essayer les transformateurs sous des surtensions atmosphériques coupées. Dans certains pays européens, cet essai n'est pas encore exigé.

2.4 Parafoudres pour courant continu à haute tension

Des informations complémentaires au rapport 33-14 ont été données. Celles-ci font ressortir la différence entre la protection des stations de conversion à valves à vapeur de mercure et la protection des stations de conversion à thyristors. Les principes évoqués dans le rapport 33-14 ont dans l'ensemble été approuvés. On a expliqué pourquoi les surtensions de ferrorésonance se produisant sur les valves lors de défauts apparaissant sur le côté courant alternatif du pont devraient être prises en considération. Un autre expert a attiré l'attention de l'assemblée sur les coups de foudre sur la ligne à courant continu au voisinage du poste. Des surtensions à front raide pourraient se produire (300 kV/µs, 100 kV dans le poste, 100 kV sur le côté ligne de la bobine de lissage). Quant à l'approche statistique de la protection des valves à thyristors, il a été admis qu'elle est d'une grande utilité et constitue un outil nouveau qui devra faire l'objet de nouvelles études.

3. Contamination de l'isolation

(Rapports 33-02, 33-03, 33-09, 33-13, El. 02.)

3.1 Sévérité de la pollution d'un site

Les différentes méthodes employées pour mesurer la sévérité de pollution d'un site ont été discutées par de nombreux orateurs, mais il n'a pas été possible de déterminer laquelle de ces méthodes est préférable. La mesure de la conductivité superficielle et de la densité des dépôts de sel et de poussière est pratiquée dans plusieurs pays. Dans l'état actuel de nos connaissances, il semble prudent d'utiliser différentes méthodes pour mesurer la sévérité de la pollution d'un site.

3.2 Essais in situ

De nouveaux résultats d'essais in situ réalisés dans des conditions naturelles dans des stations d'essai ont été communiqués. Le choix de le tension d'essai demeure un facteur important.

Sur la question de savoir si la tension d'essai doit être supérieure à la tension de service, un grand nombre d'opinions divergentes ont été exprimées. Il ressort des discussions qu'une tension d'essai plus élevée est possible et acceptable si un certain nombre de limitations sont soigneusement observées. Cependant, une tension d'essai très élevée peut facilement conduire à des conclusions incorrectes. De nombreux experts ont fait part de résultats de mesures de courants de fuite effectuées au cours d'essais in situ, mais il n'a pas été possible d'en tirer des conclusions quant à l'utilisation de différents isolateurs dans des conditions de pollution atmosphérique. Les orateurs dans leur majorité étaient partisans d'établir une procédure d'essai in situ normalisée, mais quelques orateurs s'y opposèrent. Un orateur a donné des renseignements sur les recherches concernant ce qu'il a appelé l'indice de sévérité «p».

3.3 Essais de pollution artificielle; comparaison avec les essais in situ

Quelques discussions ont été consacrées au problème de la linéarité de la tension de contournement. Un orateur a précisé qu'il y a linéarité lorsque la couche superficielle est bien humidifiée. D'autres orateurs ont nié l'existence d'une linéarité. Il semble que seuls les essais effectués dans des conditions réelles permettront de dire si oui ou non il y a proportionnalité.

De nombreux experts ont fait des commentaires sur la procédure d'humidification pendant les essais artificiels. Un expert n'était pas d'accord avec les explications du rapport 33-10 sur l'essai sous brouillard salin (dans le rapport 33-10, il est dit que l'essai sous brouillard salin empêche la formation de bandes sèches). Un autre expert a estimé que pour les essais par couches solides, le brouillard artificiel produit au moyen de vapeur d'eau est la meilleure solution. Des résultats ont été également obtenus dans plusieurs laboratoires pour les couches non-uniformes, mais il est difficile de le répéter. Le temps d'humidification a une grande influence sur les résultats d'essai.

L'opinion dominante est qu'il ne sera pas possible de trouver un essai artificiel universel et qu'il faudra utiliser des essais différents pour chaque type de pollution naturelle.

La longueur de la ligne de fuite a une influence importante sur la tension de contournement et une augmentation de 15 % assure un comportement fiable de l'isolateur dans un réseau neutre avec bobines de compensation dans les mêmes conditions de pollution.

Pour les performances d'isolateurs sous des surtensions temporaires, un essai au brouillard salin sur la tête de l'interrupteur d'un disjoncteur a été décrit. On a observé que la forme de l'isolateur a une grande influence.

3.4 Critères constructifs

Un expert a fait remarquer que des progrès ont été réalisés dans les travaux sur le lavage sous tension et le graissage. Des

résultats satisfaisants ont été obtenus au cours d'essais in situ avec une graisse à base d'hydrocarbone, douce et facilement applicable. On a pu donner également la raison de l'excellent comportement sous pollution de l'isolation stabilisé; il s'explique par l'effet de chaleur additionnel dans l'émail conducteur.

Enfin, on a rendu compte d'expériences satisfaisantes réalisées avec des isolateurs en polymère aux profils inhabituels.

4. Tenue diélectrique de l'isolation externe

(Rappports 33-11, 33-15, 33-03, 31-11, El. 03, El. 04, El. 05.)

4.1 Tenue de la surtension de manœuvre entre phase et terre

Des essais effectués sur de grands intervalles ont donné des valeurs minimales pour une tension de contournement 50 % et pour un écart-type avec des temps de front critiques. Par conséquent, si on parle des tensions de tenue et non des tensions d'amorçage 50 %, le minimum de tenue disparaît.

Un accord a pu se faire entre les différents laboratoires, parmi lesquels les Renardières au sujet des courbes de tension de contournement des grands éclateurs avec des impulsions positives (jusqu'à 12 m).

Le temps de montée à la crête ne représente pas suffisamment la forme d'onde. Des valeurs différentes ont été obtenues avec des impulsions de formes différentes mais pour le même temps de montée à la crête.

Malgré les critiques récentes, il a été reconnu que le facteur de forme de l'intervalle d'air est un bon outil pour la conception préliminaire et doit garder sa signification de valeur de référence. Mais la configuration des électrodes et la longueur de l'intervalle pour lequel il a été relevé, devrait être considéré avec soin. Quelques modifications supplémentaires seront alors nécessaires.

Selon un expert, il ne semble pas très important de reproduire avec exactitude le champ électrique de toute la structure du pylône. Un rapport «longueur du conducteur» sur «longueur de l'intervalle» égal à 2,5 paraît suffisant. Un autre expert a préconisé de reproduire la configuration réelle de la façon la plus fidèle possible afin d'avoir une distribution du champ à l'intérieur de la fenêtre proche de la distribution réelle. L'humidité a une plus grande influence qu'un champ électrique correct.

4.2 Essais de surtension de monœuvre entre phases

Quelques résultats ont été présentés au nom du sous-groupe de travail 03 du Groupe de Travail 33-03. Des essais seront effectués avec des surtensions égales de polarité opposée et sans intervalle de temps entre elles.

Un expert a communiqué des résultats récents obtenus aux Renardières sur éclateurs à tiges et sur éclateurs à anneaux avec une distance allant jusqu'à 13 m.

4.3 Physique des décharges

Des experts du sous-groupe de travail «Physique des décharges» ainsi que des experts n'appartenant pas à ce sous-groupe de travail ont communiqué des résultats récents obtenus dans leur domaine d'activité. Des progrès considérables ont été réalisés et des informations complémentaires au rapport 33-15 et El. 04 ont été fournies. On ne peut pas encore en tirer des conclusions définitives et les travaux continueront sur la base internationale établie en utilisant les facilités offertes par le laboratoire des UHT aux Renardières.

Groupe 34 – Protection, automatisation et équipements de télécommande

Trois sujets préférentiels ont servi de base aux rapports et aux interventions dans leur discussion:

- Protection des grands turbo-alternateurs
- Constitution et protection des réseaux des services auxiliaires des centrales dans les conditions normales et anormales d'exploitation
- Développement, conception et réalisation des équipements utilisés dans les réseaux électriques pour assurer la fiabilité de leur exploitation. Méthodes de réglage assurant cette fiabilité.

Afin d'ordonner la discussion des neuf rapports présentés, il est demandé que les interventions se fassent dans l'ordre des groupes de questions posées par le Rapporteur spécial dans son rapport 34-00.

Discussion

Le premier sujet de discussion porte sur la mise à la terre du neutre des alternateurs et les méthodes de protection contre les défauts à la terre. On est tombé d'accord sur le fait que le degré de protection de l'enroulement devait être d'au moins 95 %, car les statistiques produites indiquent que les risques de défauts survenants dans les 5 % de l'enroulement proches du point neutre sont pratiquement négligeables.

Des défauts apparaissant dans cette zone semblent avoir pour principale cause une conception défectueuse ou un défaut d'exécution. On cite l'expérience de machines ayant leur neutre mis à la terre à travers une impédance limitant le courant de défaut à la terre à cinq ampères ou même moins et pour lesquelles les dommages causés à la machine à l'emplacement du défaut à la terre ont été minimes. Une ample discussion s'engage, centrée sur l'emploi du système de mise à la terre résonnant, dans lequel le courant de défaut à la terre est théoriquement réduit à zéro. L'expérience acquise par un utilisateur de cette méthode au cours des vingt dernières années l'a conduit à retarder le déclenchement jusqu'au moment de pouvoir arrêter la machine à la main de façon méthodique. Parmi les inconvénients de ce système figure le manque de matériel satisfaisant, offrant une souplesse d'emploi suffisante.

Quel que soit le genre de mise à la terre employé, on est tombé d'accord sur le fait que tous les efforts doivent être déployés pour éviter l'évolution d'un défaut entre une seule phase à la terre vers un défaut entre deux phases. Pour la protection des alternateurs contre les courants inverses, on fait observer que la valeur $I_2^2\,t = 5$ ne devrait pas poser de problèmes de coordination avec les relais extérieurs du réseau. Une réduction à 3 de cette constante, actuellement envisagée, serait susceptible de soulever de tels problèmes pour les relais existants dans les réseaux.

Quant à la protection de réserve des alternateurs, il apparaît que la pratique courante est d'employer des relais de distance. On a également admis en général que les relais à manque d'excitation doivent être branchés de manière à provoquer le déclenchement de l'alternateur.

Pour ce qui concerne les batteries, l'emploi d'accumulateurs acides au plomb a généralement la préférence, avec des tensions de 125 ou 250 V. On a cité quelques applications spéciales à des tensions plus faibles. Des batteries très puissantes ayant des capacités supérieures à 1500 Ah deviennent de plus en plus courantes, notamment dans les centrales nucléaires.

La discussion porte sur la pratique consistant, dans les réseaux des services auxiliaires de centrales, à classer les charges en deux catégories. L'une d'elles est considérée comme pouvant être coupée avec recours à des moyens permettant de minimiser la durée de la coupure. L'autre est considérée comme vitale et ne pouvant tolérer aucune coupure d'alimentation. On cite l'emploi d'onduleurs à semi-conducteurs et de générateurs diesel de secours pour l'alimentation des auxiliaires.

Le délestage semble devenu de pratique courante pour éviter les perturbations profondes des réseaux en cas de déséquilibre entre consommation et production. Le recours à des relais à baisse de fréquence pour provoquer le délestage est quasi universel, bien qu'on fasse également un certain usage de relais à baisse de tension. Les relais à baisse de fréquence doivent avoir une grande rapidité de fonctionnement et l'usage général est de les prévoir pour un déclenchement en deux ou trois stades.

On cite l'utilisation pour le délestage de relais à vitesse de variation de la fréquence, mais la pratique qu'on en a est encore assez limitée. Des problèmes de conception, d'essai et d'application de ces relais semblent s'opposer à leur emploi. Certains avis sont toutefois favorables à la poursuite d'un travail de développement à leur sujet.

La séparation intentionnelle de certaines parties du réseau pour former des «ilôts» (ilotage) n'est généralement pas considérée favorablement comme moyen de juguler le déséquilibre production-consommation. On indique aussi les possibilités d'emploi de turbines à gaz à démarrage automatique et le démarrage en alternateur des groupes hydrauliques des stations de pompage à

accumulation. En général, alors que l'expérience acquise en matière de délestage à baisse de fréquence est jugé satisfaisante, on fait observer toutefois que des difficultés peuvent être rencontrées lors de la mise en route d'installations de ce genre, qui ne peuvent être surmontées qu'en façonnant avec beaucoup de soin le plan de délestage de manière à l'ajuster au réseau considéré. Il faut également reconnaître les aspects de la pratique du délestage de charge sur le plan social et sur celui des relations publiques.

La reprise de l'alimentation des charges délestées après un délestage ne s'accomplit généralement pas de façon automatique. Dans les cas où une certaine automatisation est employée, il semble nécessaire de procéder néanmoins à certaines manœuvres manuelles pour mettre en route cette reprise de service. L'action rapide sur le vannage des turbo-alternateurs n'est utilisée que très peu; ses avantages sont cependant examinés par un utilisateur. Il paraît probable que cette pratique connaîtra de plus amples applications lorsqu'on aura acquis davantage d'expérience à son sujet et que les besoins du contrôle de la stabilité des réseaux seront devenus plus pressants.

Groupe 35 – Télétransmissions

Les discussions ont porté sur des sujets variés, comportant d'une part des études à long terme:

- accroissement du nombre de canaux des liaisons propres aux réseaux,
- intégration des techniques de télécommunication dans les projets et d'autre part des études de mise en application pratique, d'intérêt immédiat,
- emploi des compresseurs-extenseurs,
- étude du compromis fondamental vitesse-fiabilité-sécurité dans la transmission de données,
- réalisation de liaisons à larges bandes ou multicanaux par porteurs HF sur fils de terre isolés sur 2 sous-conducteurs d'un même faisceau ou encore par câbles placés à l'intérieur de câbles de garde.

Ces questions apparemment distinctes résultent d'une même préoccupation: assumer dans l'avenir les accroissements exigés du débit et de la sécurité des informations à transmettre dans les réseaux.

Conceptions des télécommunications dans les réseaux à haute tension continue

(Rapport 35-01)

L'exploitation de liaisons a fait intervenir des paramètres de réglage en plus grand nombre que pour les liaisons à courant alternatif, ce qui exige des télétransmissions plus importantes. La discussion sur ce sujet a montré l'intérêt considérable d'une intégration immédiate des télécommunications dans les projets de liaison à c. c.

Le volume et la répartition en priorités des signaux à transmettre peuvent différer d'un cas à un autre, ainsi que la façon de réaliser l'interface des divers équipements et de coder les informations en vue de la sécurité. Des options diverses ont été énoncées pour les réalisations.

Il a été signalé qu'il est possible d'établir des liaisons à courants porteurs sur lignes à courant continu.

Emploi des compresseurs extenseurs

(Rapport 35-02)

L'utilisation du procédé sur des canaux téléphoniques est à discuter par cas d'espèce, les critères pouvant influencer la décision d'emploi étant fort nombreux (puissance disponible ou permise, niveaux initiaux, coûts comparés dépendant fortement des niveaux, réseau téléphonique maillé ou pas, cascade de tronçon, liaisons multi-voies, etc.). Il faut être très prudent dans l'emploi de cet outil intéressant.

Etude par simulation en calculateur du fonctionnement des systèmes binaires de téléprotection en présence de bruit

(Rapport 35-03)

La discussion a porté en fait sur la transmission des signaux digitaux et la recherche d'un optimum de leur protection en présence de bruit, qu'on pourrait aussi dénommer recherche des lois liant vitesse-fiabilité-sécurité-bruit(s).

Actuellement, la simulation programmée permet d'optimiser la protection vis-à-vis du bruit gaussien ou blanc, avec un contrôle des résultats par le calcul. Or, le bruit le plus à craindre pour les transmissions à large bande est le bruit de type impulsionnel. Des filtres et/ou un écrêtage à la réception permettent d'améliorer la protection vis-à-vis des impulsions sans perdre l'optimum vis-à-vis du bruit gaussien. On espère que le modèle pourra être soumis à des bruits réels enregistrés et on essaiera de quantifier les propriétés statistiques du bruit non-gaussien.

Les études se poursuivent sur ce sujet d'importance fondamentale pour la transmission correcte des signaux digitaux, notamment les signaux de téléprotection. Cette discussion a été reprise en fin de séance, et a montré l'intérêt apporté à la recherche, à la connaissance des limitations imposées aux performances des liaisons.

Télétransmissions à voies multiples sur lignes HT

(Rapport 35-04)

La transmission sur sous-conducteurs isolés d'un même faisceau suscite un vif intérêt, dans l'optique de la disponibilité de larges bandes ou de canaux multiples.

On s'intéresse au comportement physique (court-circuit, entretoises isolantes) et aux problèmes posés par la mise en cascade de répéteurs pour les longues distances (limites dues au rapport signal/bruit, à l'intermodulation, à la transmodulation).

L'usage du type de modulation pour ce genre de liaisons a été évoqué.

Télétransmissions par câbles sur lignes HT

(Rapport 35-05)

Même préoccupation concernant la disponibilité de liaisons large bande ou multicanaux.

La fiabilité de ce support de transmission est démontrée, qu'il comporte des câbles coaxiaux ou des quartes classiques. Des éléments de comparaison entre ces deux options ont été fournis et des limites d'emploi précisées.

Groupe 36 – Perturbations

1. Bruit acoustique

(Les rapports 36-02, 36-03, 36-05 ainsi qu'une partie du 31-12 ont été discutés et ont donné lieu à 12 interventions.)

Un gros travail a été fait dans ce domaine. L'étude théorique de ce phénomène fait apparaître une corrélation intéressante avec les bruits radio-électriques et a permis l'établissement de formules de prédétermination dont certaines ont pu être vérifiées par l'expérience avec une assez bonne approximation. Toutefois, il reste encore beaucoup à faire en particulier dans la normalisation des méthodes de mesure afin de pouvoir comparer les différents résultats et dans l'étude fine du mécanisme physique de la génération du bruit.

Par ailleurs, divers dispositifs ont été proposés pour réduire les bruits acoustiques, mais il faut attendre la sanction de l'expérience avant de porter un jugement sur leur application pratique.

2. Perturbations radio-électriques causées par la pollution des isolateurs

(Les rapports 36-04 et 36-05 ont été discutés et ont donné lieu à 7 interventions.)

Les discussions ont montré qu'il semble difficile de définir un type de pollution artificielle normalisé qui soit valable à la fois pour les perturbations radio-électriques et les problèmes de contournement.

D'autre part, les nombreuses mesures effectuées ont montré que le comportement d'un isolateur pollué en atmosphère humide n'est pas forcément lié à son comportement en atmosphère sèche lorsqu'il est propre.

L'ensemble des interventions montre qu'un certain nombre de points doivent encore être élucidés et que les études doivent être poursuivies.

3. Influence de l'élévation du potentiel de terre sur les circuits auxiliaires des postes

(Le rapport 36-01 a été discuté et a donné lieu à 5 interventions.)

Les discussions ont montré qu'un certain nombre de solutions peuvent être apportées à ces problèmes. En particulier, des conducteurs de faible résistance placés dans les mêmes tranchées que les circuits perturbés ainsi que des gaines de câbles à effet réducteur important donnent de bons résultats. L'interconnexion des terres doit également être soigneusement étudiée.

L'augmentation des puissances de court-circuit et la sensibilité de plus en plus grande des appareils utilisés risque d'aggraver ce genre de problème dans les années à venir.

Au cours de la séance, le groupe a évoqué les problèmes d'influence électrique sur le corps humain traités dans le rapport 23-06.

Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

Sitzungen des CE 40, Condensateurs et résistances pour équipements électroniques, vom 12. bis 17. September 1972 in Mailand und des CE 63, Systèmes d'isolation, vom 13. bis 17. November 1972 in Zürich

CE 40, Condensateurs et résistances pour équipements électroniques

Die Sitzungen des CE 40 hätten erstmals von seinem neu ernannten Präsidenten, D. A. Weale (Vereinigtes Königreich) geleitet werden sollen, der aber wegen plötzlicher Erkrankung hieran verhindert wurde. An seiner Stelle sprang ein britischer Delegierter, A. G. Manson, in die Lücke und leitete die Diskussionen mit vorbildlicher Ruhe und Fachkenntnis, obwohl er sich für dieses Amt kaum vorbereiten konnte. Das Sekretariat lag in den Händen von M. A. Eggink und C. van Hilten (Niederlande). Entsprechend dem seit einigen Jahren im CE 40 eingeführten Usus wurde die Besprechung der Dokumente wie folgt nach Sachgebieten aufgeteilt: Kondensatoren; Allgemeine Probleme; Widerstände und Potentiometer.

Bei den Besprechungen über Kondensatoren und der allgemeinen Probleme waren aus 14 Ländern 49 Delegierte anwesend; das CES war durch 2 Delegierte vertreten. Bei der Besprechung über Widerstände und Potentiometer waren aus 13 Ländern 29 Delegierte anwesend, mit nur noch einem einzigen Delegierten des CES.

Kondensatoren

Zu Beginn der Sitzungen orientierte der Sekretär über den derzeitigen Stand der verschiedenen Dokumente. Hiernach erfolgte die Berichterstattung über die Resultate der unmittelbar vor der Zusammenkunft des CE 40 stattgefundenen Sitzungen des SC 40A, Condensateurs variables (das CES war an diesen Sitzungen nicht vertreten). Nach kurzer Diskussion wurde dem Bericht zugestimmt und mit Bedauern vom Rücktritt des bisherigen Präsidenten, J. D. Repko (Niederlande), Kenntnis genommen; als dessen Nachfolger wurde W. C. Barry (England), gewählt.

Zum unter der 6-Monate-Regel gestandenen Dokument *40(Bureau Central)307,* Condensateurs fixes à diélectrique en film de polytéréphtalate d'éthylène ou de polycarbonate métallise, spécifications particulières, wurde das Abstimmungsergebnis bekanntgegeben: 13 Länder (inklusive der Schweiz) haben dem Dokument zugestimmt; Deutschland, Frankreich, Niederlande, Schweden und das Vereinigte Königreich lehnten das Dokument ab. Da die ablehnenden Stellungnahmen als bedeutsam erschienen, wurde eine Ad-hoc-Arbeitsgruppe gebildet, die zur Aufgabe hatte, das Dokument nochmals kritisch durchzusehen und gegebenenfalls Verbesserungsvorschläge auszuarbeiten. Auf Grund der Vorschläge dieser Arbeitsgruppe wurde dann vom CE 40 beschlossen, das Dokument folgendermassen in 2 Teile aufzuteilen: in ein Dokument mit etwas korrigierten Dimensionen, das dem 2-Monate-Verfahren zu unterstellen ist, und in ein zweites Dokument, das den Zusammenhang zwischen Dimensionen, Kapazitäts- und Nennspannungswerten enthält und das lediglich als Sekretariatsdokument, jedoch unter dem beschleunigten Verfahren, zirkulieren soll.

Die zum Dokument *40(Secretariat)255,* Aluminium electrolytic capacitors, Selection of methods of test and general requirements, eingetroffenen Stellungnahmen wurden von der Arbeitsgruppe 13 besprochen. Hierauf aufbauend unterbreitete diese AG einen verbesserten Entwurf, der vom CE 40 nach kurzer Diskussion genehmigt wurde. Dieser neue Entwurf soll der 6-Monate-Regel unterstellt werden. Ein französischer Vorschlag auf Änderung der Werte für die Verlustfaktoren tan δ konnte nicht berücksichtigt werden, da sonst die 6-Monate-Regel gefährdet wäre. Es wurde deshalb beschlossen, den französischen Vorschlag als Sekretariatsdokument zu verteilen für eine spätere Revision der Publikation. Da die GT 13, Elektrolytkondensatoren, somit ihre Aufgabe, Erstellung eines vollständigen Entwurfes, erfüllt hat, wurde sie aufgelöst. Falls später in diesem Gebiet eine neue Detailbearbeitung durch Experten nötig sein sollte, wird je nach Bedarf eine neue Arbeitsgruppe gebildet. Ebenfalls der 6-Monate-Regel unterstellt wurde das von einer ad hoc Arbeitsgruppe überarbeitete Dokument *40(Secretariat)240A,* Terminology and method of test for variation of capacitance with temperature.

Da es unmöglich erschien, die vielen Stellungnahmen zu den beiden Dokumenten *40(Secretariat)258,* Multilayer ceramic capacitor chips, and *40(Secretariat)260,* Tantalum capacitor chips, im gesamten CE 40 zu diskutieren, wurde hiezu eine weitere ad hoc Arbeitsgruppe gebildet, die sich sowohl aus Experten für Tantalkondensatoren als auch aus solchen für Keramikkondensatoren zusammensetzte. Diese Groupe de Travail vereinheitlichte vorerst die beiden Dokumente, soweit dies möglich war, und bearbeitete dann die einzelnen spezifischen Anforderungen. Die solcherart überarbeiteten Dokumente wurden ebenfalls der 6-Monate-Regel unterstellt.

Die zum Dokument *40(France)212,* Fixed tantalum capacitors with liquid or solid electrolyte, eingetroffenen Stellungnahmen wurden kurz diskutiert. Das Sekretariat erhielt hierauf den Auftrag, auf Grund der Diskussionsergebnisse einen neuen Entwurf auszuarbeiten, der dann als Sekretariatsdokument herausgegeben werden soll.

Zu einer schwierigen Diskussion führten die zum Dokument *40(Secretariat)243,* Questionnaire on marking codes for values and voltages of dipped solid tantalum capacitors, eingetroffenen Antworten. Es zeigte sich, dass Deutschland, Japan, die USA und die UdSSR bereits je einen eigenen nationalen Code eingeführt haben und natürlich keines dieser Länder von seiner nationalen Norm abweichen möchte. Da aber der japanische Code nur für die Kapazitäts-Wertreihe E 6 verwendbar ist, was allgemein als ungenügend erachtet wurde (durch den Code sollen Werte der E-12-Reihe angegeben werden können) und der russische Code keinerlei Unterstützung fand, standen sich schlussendlich nur noch die deutschen und amerikanischen Codearten gegenüber. Der deutsche Code, der leider nicht mit der CEI-Publikation 62 übereinstimmt, scheint sich mehr und mehr in Europa durchzusetzen und erhielt deshalb die Unterstützung insbesondere von Frankreich, den Niederlanden und Ungarn. Andererseits war es aber auch klar, dass die USA nicht dazu gebracht werden können, ihren seit Jahren eingeführten Code zugunsten des deut-