

Echelle de gravité des incidents affectant la sûreté du système électrique français¹

Mots clés

Réseau de transport,
Sûreté de fonctionnement,
Analyse de risques,
Facteur humain,
Management

■ Jean-Michel TESSERON, Georges TESTUD
RTE (Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité)

La France utilise une échelle de gravité des incidents significatifs vis-à-vis de la sûreté du système électrique. La détection et l'analyse de tels événements sont précieuses pour parer les risques d'effondrement du réseau. A l'heure où d'autres pays envisagent de mettre en place une approche similaire, on présente la méthodologie utilisée, et le retour d'expérience obtenu.

1. Introduction

La sûreté du système électrique est au cœur des responsabilités qui ont été confiées par la loi française à RTE, en tant que gestionnaire du réseau de transport, dès sa création en l'an 2000 [1]-[2].

De nombreux exemples montrent que les pays les plus industrialisés ne sont pas à l'abri de grands incidents [2]-[3]. Des rapports sont parfois publiés pour analyser le déroulement de ces incidents et en tirer un retour d'expé-

rience utile pour proposer des améliorations [4]-[9]. Cette pratique n'est cependant pas généralisée, en dépit de l'intérêt qu'elle présente, en tout premier lieu pour les pays concernés, mais aussi pour tout pays qui peut examiner avec profit en quoi les dysfonctionnements survenus et les améliorations proposées sont transposables à son système électrique.

Mais il est encore plus difficile de disposer d'analyses relatives aux événements d'exploitation de moindre importance ayant affecté la sûreté du système électrique.

¹ © 2007 IEEE. Cet article, publié avec l'aimable autorisation de l'IEEE, est une version française augmentée de la communication "A Gravity Scale for Detecting and Analyzing Events Affecting Power System Reliability", parue en anglais dans la revue Transactions on Power Systems (vol. 22, n° 2, mai 2007).

L' E S S E N T I E L

La sûreté du système électrique est au cœur des responsabilités qui ont été confiées à RTE, gestionnaire du réseau de transport français. Pour détecter les événements porteurs d'enseignements pour la sûreté, RTE se base sur des critères préétablis regroupés dans une « grille de classification des Evénements Système Significatifs (ESS) ». Cette grille positionne les événements sur une échelle comprenant sept niveaux. Le document présente tout d'abord les principes gouvernant le classement des ESS. On explique les évolutions survenues jusqu'à 2004, année où la grille a été remaniée profondément, en particulier pour mieux rendre compte de l'impact des nouveaux acteurs du système électrique découlant des évolutions institutionnelles. On présente les critères de classement de la grille de classification, ainsi que les analyses et le traitement effectués à partir des ESS. Enfin, on donne des exemples de contribution des ESS au retour d'expérience et aux audits sûreté.

S Y N O P S I S

Power system reliability is at the core of the responsibilities entrusted to RTE, the French Transmission System Operator. To detect events that provide information for system reliability, RTE uses preset criteria, grouped in a "Classification Scale of Significant System Events (ESS)". These events are positioned on a scale consisting of seven levels. The document first presents the principles governing the classification of ESS. It then explains the changes that took place up to 2004, the year the scale was greatly revised, in particular to take better account of the impact of the power system's new players resulting from institutional developments in Europe. The classification scale ranking criteria are presented, as well as the analyses and processing carried out using the ESS as a basis. Finally, examples of ESS contribution to feedback and reliability audits are given.

Parmi les facteurs expliquant cette situation figure la difficulté à savoir caractériser les événements utiles à détecter et à analyser. Et pourtant, la détection et l'analyse de ces événements sont précieuses pour empêcher des incidents plus profonds [10]. C'est à cette question que le présent rapport est entièrement consacré, en exposant les dispositions adoptées en France : elles consistent à appuyer le retour d'expérience sur la détection au quotidien d'événements - types identifiés comme pouvant être porteurs d'enseignements pour la sûreté du système électrique, appelés « Evénements Système Significatifs » (ESS).

Dans le cadre de ce rapport, nous présenterons successivement :

- le système électrique géré par RTE et les dispositions relatives à la sûreté du système électrique,
- un historique de la démarche ayant conduit à adopter et faire évoluer une grille de classification des ESS,
- le contenu de la grille,
- le retour d'expérience basé sur les ESS.

2. Le système électrique et les dispositions relatives à la sûreté système en France

2.1. Le système électrique et l'organisation de RTE

Le système électrique français est un ensemble de plus de 100 000 MW de puissance installée, qui comprend des centaines de groupes de production, plusieurs dizaines de milliers de kilomètres de lignes ou de câbles interconnectés via des postes THT et HT pour former un réseau très maillé, des milliers d'installations de clients raccordés directement au réseau de transport ou via des réseaux de distribution, huit centres de conduite (sept régionaux et un national). Il fait partie de l'interconnexion synchrone européenne, qui alimente 450 millions de personnes.

RTE, gestionnaire du réseau de transport, est organisé pour ce qui concerne l'exploitation en deux grandes Directions : la Direction Système est chargée de l'exploitation du système électrique, tandis que la Direction Transport est chargée de l'exploitation des ouvrages de transport. Ces deux Directions sont structurées en centres de management appelés Unités.

Du point de vue de l'organisation territoriale opérationnelle, RTE comporte sept régions, avec pour chacune une Unité Système (URSE) et une Unité Transport (UTE), plus le Centre National d'Exploitation du Système (CNES), Unité Système chargée du niveau national de l'exploitation et du dispatching national.

Au niveau fonctionnel central, trois entités jouent un rôle plus particulier vis-à-vis du retour d'expérience :

- pour la Direction Système, le Département

Performance du Système et Accès au Réseau (DPSAR) ;

- pour la Direction Transport, la Mission Performance de l'Exploitation et Engagements (MPEE) ;
- rattachée directement au Président du Directoire de RTE, la Mission Audit Sûreté. Cette entité est chargée spécifiquement de s'assurer de la prise en compte de l'enjeu « sûreté du système électrique », et a pour cela la responsabilité de deux activités principales complémentaires : la réalisation d'audits sur la sûreté du système électrique, et la réalisation du bilan annuel de la sûreté du système électrique français [1], [11].

Par ailleurs, RTE a obtenu la certification qualité ISO 9001 V2000 pour l'ensemble de ses activités. De ce fait, la sûreté du système bénéficie des dispositions mises en place par RTE dans le cadre de la démarche Qualité, à travers plusieurs macroprocessus de la cartographie décrivant les activités : raccorder au réseau public de transport, enlever et mettre à disposition l'électricité, assurer l'accès aux interconnexions, assurer les services d'équilibre, développer et maintenir le réseau, assurer l'équilibre des flux, assurer l'équilibre entre l'offre et la demande et compenser les pertes, développer et maintenir le Système d'Informations.

2.2. Les dispositions relatives à la sûreté système

Pour éviter de nouveaux effondrements du réseau, il a été mis en place en France une politique de maîtrise de la sûreté de fonctionnement du système électrique. Cette politique, qui a fait l'objet fin 2003 d'un engagement du Directeur du gestionnaire du réseau de transport², s'appuie sur la définition de la *sûreté de fonctionnement du système électrique* (ou, en plus court, « *sûreté système* ») adoptée en France, qui représente l'aptitude à :

- 1) assurer le fonctionnement normal du système ;
- 2) limiter le nombre d'incidents et éviter les grands incidents ;
- 3) limiter les conséquences des grands incidents lorsqu'ils surviennent.

Cette définition est importante car elle comprend l'ensemble du champ du fonctionnement du système électrique, en allant de l'état normal à celui le plus dégradé, y compris la reconstitution du réseau après un éventuel grand incident.

En dépassant le cadre des aléas élémentaires et de leurs combinaisons potentielles multiples pour se placer à un niveau plus synthétique, on peut considérer que la genèse d'un incident de grande ampleur est toujours caractérisée par quelques phases de fonctionnement typiques liées à quatre grands phénomènes électromécaniques, qui, indépendamment de leurs causes initiales pou-

² cf annexe A2 de [16].

vant être multiples et très variées, se succèdent, se superposent ou s'associent tout au long de l'incident. Ces phénomènes sont 1) la cascade de surcharges, 2) l'écroulement de fréquence, 3) l'écroulement de tension, et 4) la rupture de synchronisme [12]-[13].

En s'appuyant sur cette typologie, la sûreté repose en France sur la mise en œuvre de dispositions multiples, adaptées à la dynamique des quatre phénomènes majeurs d'écroulement, pour prévenir, détecter et traiter les dysfonctionnements pouvant conduire à leur émergence. Les dispositions, qui relèvent du domaine du matériel et du domaine organisationnel et humain, sont organisées en lignes de défense, suivant un concept de défense en profondeur. Les lignes de défense se rapportent à trois volets [14]-[16] :

- la prévention et la préparation ;
- la surveillance et l'action ;
- les parades ultimes.

3. Historique de la mise en place de la grille de classification et de ses évolutions

La grille de classification des ESS a été construite sur la base de critères de détection préétablis. En cohérence avec la définition de la sûreté système, ces critères sont conçus de façon à pouvoir caractériser les différents types d'altération de la sûreté : défaillances dans la capacité à assurer le fonctionnement du système en régime normal, dans l'aptitude à parer les aléas en allant des petits incidents jusqu'à l'effondrement total du réseau, et dans la capacité à assurer la reprise de service à la suite d'un grand incident éventuel.

La grille de classification est conçue de façon à pouvoir positionner les événements porteurs d'enseignements à leur juste niveau d'importance vis-à-vis de la sûreté, en les situant sur une échelle de gravité comprenant six niveaux allant de A à F. Un niveau « 0 » supplémentaire est affecté aux événements à enjeu plus faible pour la sûreté, mais qu'il convient de mémoriser.

La mise au point de cette méthodologie s'est faite historiquement en plusieurs étapes.

L'origine de la démarche remonte au milieu des années 80. Dans la décennie précédente, le système électrique français venait de connaître une évolution très profonde, avec une croissance rapide et soutenue de la consommation, l'arrivée de groupes de production nucléaires de forte puissance, nombreux et localisés dans des endroits distants des zones de consommation, le développement rapide de nouvelles lignes 400 kV accompagné de l'émergence de lignes à double terre. Simultanément sont survenues des évolutions profondes des systèmes de régulation et de protection, avec en particulier la mise en place de systèmes de réglage secondaire de la tension au niveau régional, de régulateurs primaires de tension et de vitesse très perfectionnés pour uti-

liser au mieux les performances des nouveaux groupes de production, et, du côté des protections d'ouvrages transport, l'arrivée de protections de distance de type électronique et leur doublement fonctionnel par des protections différentielles de lignes, ainsi que l'installation de protections différentielles de barres dans les postes à très haute tension.

De façon concomitante avec cette évolution rapide, les exploitants du système électrique ont été confrontés à des incidents nouveaux qui ne pouvaient pas être traités par les dispositions habituelles de retour d'expérience. Après de premières investigations, il s'est avéré que l'explication de ces événements - et la recherche de remèdes - nécessitait de constituer un retour d'expérience spécifique de façon à pouvoir réunir à la fois les compétences des exploitants, des spécialistes en matière de stabilité et plus généralement de fonctionnement dynamique du réseau, des experts capables d'identifier et de modéliser le comportement des régulations et des protections. Ceci demandait aussi de pouvoir traiter les différents domaines impliqués dans les incidents, qui concernaient surtout l'exploitation du système électrique, les ouvrages de transport, les groupes de production, les équipements de protection, de contrôle commande et de régulation. A cette fin a été créée une structure spécifique, le « Groupe de Travail permanent Incidents ayant affecté le réseau et la production (GTI) », chargé d'identifier les « incidents système électrique significatifs » affectant à la fois les réseaux de transport et les groupes de production [17]. Ce groupe analysait les incidents les plus complexes, dont il pouvait traiter en pratique, compte tenu de l'ampleur des analyses à mener, une vingtaine de cas par an.

Il est alors apparu progressivement que ce type de retour d'expérience méritait d'être transposé à des événements moins complexes, mais plus nombreux, pour lesquels il était impossible d'entreprendre des analyses aussi lourdes.

Compte tenu du fait que plusieurs membres du groupe de travail GTI représentaient les exploitants des groupes de production nucléaires, et que le monde nucléaire utilisait déjà une échelle de gravité (échelle INES) pour déclarer les incidents de centrales ayant affecté la sûreté nucléaire, les réflexions se sont orientées vers une transposition de ce principe pour déclarer les incidents les plus significatifs ayant affecté la sûreté du système électrique français. La première classification a commencé à être utilisée en 1991 [18].

Outre la transposition de l'approche utilisée dans le nucléaire, la conception de l'approche, et plus particulièrement de la grille de classement, a été très marquée par les principes de « conduite par état » et de « défense en profondeur » [19]-[20], dont EDF étudiait alors les possibilités d'application à la conduite du système électrique français. Ces principes étaient très présents à l'esprit des concepteurs de la grille, ainsi que lors des révisions ulté-

rieures, en particulier lors de la dernière révision mise en application début 2004.

A partir de cette mise en place initiale de la grille d'ESS, plusieurs modifications furent apportées au fil du temps, dont nous allons présenter les deux majeures.

En 1996, il a été décidé d'introduire la prise en compte de la gravité intrinsèque des événements indépendamment de leurs causes et conséquences, de la gravité des conséquences réelles et potentielles sur le système électrique, et de facteurs aggravants (ex : défauts de transparence dans la déclaration) [21].

Enfin, l'évolution mise en place début 2004 [22] a introduit plusieurs modifications profondes, dont les suivantes :

- la méthodologie de classement a été précisée en la faisant reposer sur l'appréciation combinée de la gravité selon deux types d'entrée (voir chapitre suivant) ;
- on a intégré l'apport des contrats signés entre RTE et ses interlocuteurs, qui conduisent à mieux préciser l'impact sur la sûreté des différents acteurs raccordés au réseau (producteurs et distributeurs).

4. Présentation de la grille de classification des ESS et des rubriques types d'ESS en vigueur depuis début 2004

4.1. Méthodologie de classement

La méthodologie de classement des ESS redéfinie pour application début 2004 (cf [22], ainsi que le bilan sûreté [1] pour l'année 2004) repose sur une appréciation combinée des événements selon deux types d'entrée :

- un type d'entrée permettant d'enregistrer l'occurrence d'événements élémentaires concrets répertoriés affectant une fonction d'exploitation, dans cinq "domaines" : 1) réseau (il s'agit ici du réseau public de transport géré par RTE), 2) production, 3) exploitation du système, 4) moyens de conduite, 5) distribution ; le niveau de gravité affecté aux événements élémentaires ainsi répertoriés marque l'appréciation de la force de l'agression subie par le système, indépendamment de toute considération quant à la robustesse de son état lors de cet événement ;
- un type d'entrée visant à marquer le niveau de dégradation du fonctionnement du système (on retrouve ici les principes de conduite par état et de défense en profondeur), caractérisé soit par une appréciation directe de l'atteinte d'un état de sûreté aggravé, soit par l'exécution d'une action de défense visant en fait à éviter d'atteindre une aggravation de l'état de sûreté.

Des dispositions particulières de la méthode de classement permettent dans certains cas d'affecter l'événement

survenu d'un facteur aggravant, notamment en évaluant par un avis d'expertise les conséquences potentielles que le même événement aurait eues s'il avait été déplacé dans le temps (par exemple lors de la montée de charge ou à l'heure de pointe de la même journée). Lorsque les résultats de l'expertise ou de l'analyse sur les conséquences potentielles d'un événement de gravité N conduisent à identifier un événement situé dans la grille à un niveau égal au moins à N+2, on affecte alors le classement final d'un niveau supplémentaire.

Les événements affectés d'un « niveau lettre » (A à F) sont considérés comme ayant un impact avéré sur la sûreté. Les événements affectés du niveau 0 sont considérés comme sans impact direct avéré sur la sûreté mais sont jugés mériter un suivi particulier ; leur enregistrement systématique constitue un facteur d'amélioration de la sûreté par la capitalisation et la mutualisation des connaissances, ainsi que par les analyses thématiques dont ils peuvent fournir la matière.

Des événements peuvent également être enregistrés sans correspondre à l'un des critères explicites figurant dans la grille, et ils sont alors considérés comme « non classés » (NC). Ils sont utiles parce qu'ils permettent de mémoriser des types d'aléas qui peuvent avoir échappé aux concepteurs de la grille, et parce que de nouveaux types d'aléas peuvent apparaître compte tenu de l'évolution du système électrique ; le retour d'expérience effectué sur ces événements est utile en vue des révisions futures de la grille de classement.

4.2. Modifications principales effectuées sur la grille

Un nouveau domaine est venu s'ajouter à ceux qui existaient auparavant : le domaine « distribution ». Regroupant les événements sûreté dont l'origine se trouve chez les distributeurs et consommateurs ou dans leur réponse aux sollicitations sûreté de RTE, il vise à faciliter l'implication de ces acteurs dans la sûreté.

On a également réaffecté profondément les critères selon les domaines, de façon à ce que l'affectation d'un ESS à un domaine soit la plus représentative possible de la responsabilité. Ceci vise à responsabiliser les acteurs, d'une part à l'externe, d'autre part en interne à RTE (en facilitant l'élaboration et le suivi d'indicateurs caractérisant la responsabilité des acteurs).

Des modifications profondes ont également été apportées aux libellés des événements - types. Ces modifications visent essentiellement à recentrer les libellés des événements élémentaires du premier type d'entrée du classement (ampleur des agressions subies par le système) en s'affranchissant des appellations de matériels ou logiciels, qui ne constituent en fait que des supports de fonctions générales relevant de l'exploitation (observabi-

lité, commande, transit...), et sont sujettes à évolution. Les intitulés d'événement se centrent désormais, autant que faire se peut, sur les fonctions altérées.

On s'est également attaché à donner de la densité à la grille dans tous les niveaux de classement et dans tous les domaines, et le positionnement des événements vis-à-vis de la sûreté a été précisé pour limiter les sauts d'échelle et introduire une continuité suffisante dans les niveaux de gravité utilisables. Sans que cela conduise à modifier le nombre d'ESS, cela permet d'être mieux assuré de la pertinence du calage avec le degré de vulnérabilité.

En effet, en prenant du recul sur la constitution des grilles précédentes, et grâce à l'appui des enseignements tirés des audits sûreté [11], on avait fait le diagnostic que la grille de classification était hypertrophiée pour les événements 0 et A, et qu'elle comportait des trous dans la classification pour les niveaux C, D et E, voire B. Ceci s'explique par l'histoire : d'une part, il était conceptuellement facile d'attribuer le niveau le plus grave (F) à un incident entraînant la perte totale du système électrique français (telle qu'elle s'est produite le 19 décembre 1978 [4]-[7]) ; d'autre part le retour d'expérience sur les ESS les plus fréquents (ESS 0 et ESS A) avait progressivement donné beaucoup de matière pour imaginer des libellés d'événements - types ; mais un tel retour d'expérience est beaucoup plus limité en nombre pour les événements dès que l'on atteint le niveau C, voire le niveau B. Et pourtant, il est indispensable de concevoir des libellés pour les niveaux C, D et E. Une attention très poussée a donc été portée à cette question pour la révision de la grille. Ici, il a été utile de s'appuyer sur la défense en profondeur et la conduite par états pour combler les trous de la classification.

On s'est efforcé également de prendre en compte les évolutions importantes ayant impacté le système électrique depuis l'élaboration des grilles précédentes. Ces modifications ont concerné entre autres la mise en place du Mécanisme d'Ajustement (ce mécanisme institutionnel décrit la façon dont RTE procède aux ajustements de production nécessaires à l'équilibre avec la consommation, en interclassant les propositions de puissance de réserve des producteurs en fonction de leur prix d'offre) ; on a également cherché à prendre en compte les règles de l'Union pour la Coordination du Transport de l'Electricité (l'UCTE coordonne les intérêts des gestionnaires des réseaux de transport dans 23 pays européens; cette association établit les règles à respecter par les partenaires pour garantir la sûreté de l'interconnexion synchrone).

On a veillé à ce qu'il soit facile d'attribuer un événement à l'un des critères d'ESS répertoriés, de façon à limiter les pertes d'ESS par difficulté de classement qui survenaient antérieurement.

La définition des événements du domaine « réseau »

a été également revue en échelonnant la gravité des critères selon le nombre de liaisons hors service simultanément et en s'affranchissant de l'usage de listes d'ouvrages, toujours discutables et susceptibles d'évolutions.

Enfin la description des critères, centrée essentiellement sur les fonctions, visait à faciliter l'utilisation de cette grille en dehors du cadre de RTE.

4.3. Impact des modifications

La révision a été effectuée en évaluant l'impact des modifications sur la continuité des statistiques et le nombre d'ESS à traiter. Le diagnostic suivant a été établi :

Concernant l'impact des modifications sur la continuité des statistiques et le nombre d'ESS à traiter, il a été jugé que les modifications apportées sur les événements classés de A à F des domaines déjà existants, étant donnée leur faible occurrence, auraient une incidence sur le « raccordement » des données passées, plus particulièrement dans les domaines « Réseau » et « Exploitation du Système » ; le nombre global d'ESS classés A et plus ne devrait néanmoins pas fondamentalement évoluer. Par ailleurs, il a été estimé que l'introduction d'un nouveau domaine « distributeurs » ne devrait pas impacter non plus de façon sensible le nombre d'ESS A et plus, ce qui s'est révélé exact depuis début 2004.

4.4. Structure de l'échelle de gravité

Il est difficile de rendre compte dans une présentation limitée d'une grille qui est très détaillée ; à titre indicatif, le nombre de critères de classement est de 16 pour le domaine « réseau », 13 pour le domaine « production », 18 pour le domaine « exploitation du système », 18 pour le domaine « moyens de conduite », 12 pour le domaine « distribution », et 24 pour le mode d'entrée « niveau de dégradation du fonctionnement du système ». Chaque critère est explicité par un libellé pouvant comporter jusqu'à une trentaine de mots.

De façon schématique, on peut illustrer la structure de la grille de la façon suivante, tous modes d'entrée confondus :

- niveau A (anomalie, incident) : perte de plusieurs lignes, non respect d'un engagement fort d'un producteur vis-à-vis de la sûreté, perte de 1500 MW à 3000 MW de production, non respect des règles de fonctionnement du réseau 225 kV, insuffisance de production en réserve, perte partielle et significative des moyens de conduite, non exécution d'une action de sauvegarde locale, perte de consommation locale, faible excursion en fréquence ;
- niveau B (incident notable) : perte de nombreuses lignes, perte des interconnexions avec un autre pays, perte de plus de 3000 MW de production en France, non respect des règles de fonctionnement du réseau 400 kV, insuffisance importante de production en

réserve, perte importante de moyens de conduite, non exécution d'une action de sauvegarde sur une zone, perte de consommation, excursion notable de fréquence ;

- niveau C (incident important) : perte de très nombreuses lignes, perte de plus de 3000 MW sur un même site de production, perte totale des moyens de conduite, non exécution d'une action de sauvegarde vitale sur une zone, incident au niveau d'une zone ;
- niveau D (incident étendu) : perte de plusieurs postes THT, incident généralisé au niveau régional ;
- niveau E : incident généralisé à plusieurs régions ;
- niveau F : incident généralisé.

5. Méthode de retour d'expérience basée sur les ESS

Les dispositions relatives à la détection et l'utilisation des ESS sont précisées dans le « Référentiel d'Exploitation Système », qui exprime formellement la doctrine interne appliquée par RTE [1]-[16].

Tout événement qui peut être caractérisé par un ou plusieurs items des grilles de classification doit être déclaré et enregistré dans une base de données commune dédiée.

Un *rapport factuel* est établi pour tout ESS et diffusé via la base de données commune. Il comporte la relation des événements et de toutes les mesures conservatoires prises ou engagées. Sur décision du management, le rapport factuel est complété par un *rapport d'analyse approfondie*, qui contient une recherche des causes profondes propres à RTE, les enseignements retenus par les différentes parties concernées internes ou externes à RTE, les décisions d'actions correctives voire préventives, les mesures d'efficacité envisagées.

Les Unités (URSE, CNES, UTE) mettent en place l'organisation nécessaire à la mise en œuvre et au suivi des actions décidées jusqu'à leur solde.

Des examens périodiques des informations enregistrées sur la base de données commune sont effectués par les URSE et par le CNES, ainsi que par les équipes chargées du retour d'expérience au niveau central pour les Directions Système (DPSAR) et Transport (MPEE), afin de détecter des événements répétitifs ou ayant des causes génériques pour lesquels des actions correctives ou préventives sont nécessaires ou paraissent pertinentes.

Ainsi, cette base de données constitue un outil puissant pour le retour d'expérience sur les événements significatifs vis-à-vis de la sûreté du système électrique. Rien

que depuis le 1^{er} janvier 2001, elle contient environ 6000 ESS.

6. Retour d'expérience obtenu grâce à la grille de classification des ESS

6.1. Retour d'expérience obtenu sur les ESS

La déclaration des ESS permet tout d'abord d'obtenir des indications globales sur l'évolution du nombre et de la gravité des événements significatifs vis-à-vis de la sûreté du système, et de leur répartition par domaines de classification.

Ces informations sont utilisées pour communiquer en interne à RTE sur la sûreté, mais aussi pour communiquer avec tous les acteurs qui jouent un rôle dans la maîtrise de la sûreté.

ESS	2002	2003	2004	2005	2006
A	44	70	42	65	45
B	7	14	3	4	4
C	1	3	1	1	0
D	0	0	0	0	1
E	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0
Total ≥ A	52	87	46	70	50

Tableau 1. Nombre d'ESS par niveau de gravité et par an.

ESS ≥ A	2002	2003	2004	2005	2006
Réseau	12	19	16	9	6
Système	28	49	7	34	36
Moyens conduite	7	10	21	18	3
Production	5	9	2	6	4
Distribution	—	—	0	3	1
Total ≥ A	52	87	46	70	50

Tableau 2. Nombre d'ESS par domaine et par an.

Les tableaux 1 et 2 présentent l'évolution du nombre d'ESS de niveau au moins égal à A, de 2002 à 2006 [1].

La présentation de ces ESS demandant beaucoup de place, le lecteur se reportera au Bilan annuel de la sûreté du système électrique français, réalisé par RTE depuis 2001 [1].

Par ailleurs, environ mille ESS de niveau 0 sont déclarés annuellement. Leur déclaration est précieuse pour améliorer le retour d'expérience, même s'ils affectent peu la sûreté³. Ceci permet aussi de mener des analyses thématiques à l'initiative des Unités régionales et des équipes fonctionnelles centrales de RTE, comme sur les fonctionnements anormaux de sectionneurs 400 kV, les impossibilités temporaires de passer des télécommandes depuis les dispatchings vers les postes, les pannes concomitantes de protections différentielles de lignes et de téléactions utilisées par les protections de distance.

³ ainsi, on déclare en ESS 0 tout déclenchement de groupe de production et tout déclenchement de ligne 400 kV, alors qu'un tel déclenchement est couvert par le respect de la règle d'exploitation dite du "N-k"

6.2. Utilisation des ESS pour des indicateurs de gestion

Nous avons vu plus haut que RTE a décrit ses activités, dans le cadre de la démarche Qualité, à travers des macroprocessus dont beaucoup concernent la sûreté du système. Le pilotage de ces macroprocessus s'appuyant en particulier sur des indicateurs, il a été séduisant de chercher à se baser sur la déclaration des ESS pour concevoir des indicateurs marquant la contribution des indicateurs à la sûreté. C'est ainsi qu'on trouve les indicateurs suivants : nombre d'ESS A et B sur 12 mois glissants, nombre d'ESS de niveau supérieur ou égal à C, déclaration des ESS de niveau 0, taux d'ESS liés au processus équilibre offre - demande, nombre d'ESS ayant pour cause le Système d'Information.

Une telle démarche a cependant ses limites.

D'abord, il est difficile de trouver un équilibre entre la nécessité de limiter le nombre des indicateurs (en cherchant à piloter à un niveau trop détaillé, on ne piloterait plus rien), le souci d'avoir des indicateurs globaux mais dont on risque de ne pas pouvoir faire grand chose concrètement, et des indicateurs portant sur des secteurs précis mais qui risquent de faire écran à d'autres contributions à la sûreté (en particulier, il faut éviter de se focaliser sur l'équilibre offre - demande).

Une autre limite tient au biais que l'existence d'indicateurs risque d'introduire dans la déclaration des ESS. Plusieurs audits sûreté ont en effet montré [11] qu'il existe un risque non négligeable que le poids apporté par le management au respect des indicateurs conduise en pratique à ne pas favoriser la transparence dans la déclaration des ESS. Pour contrer ce risque, RTE a cherché à encourager la déclaration des ESS de niveau 0, en mettant en place un autre type d'indicateur : au contraire des ESS de niveau supérieur ou égal à A, dont on cherche à limiter les occurrences, on se fixe cette fois pour objectif de déclarer un nombre minimum d'ESS 0 par an.

6.3. Utilisation des ESS pour communiquer sur le niveau de sûreté

Comme sans doute tous les gestionnaires de réseau de transport, RTE est parfois confronté à des demandes de caractérisation du niveau de sûreté du système électrique par des indications simples, sous forme de chiffres globaux. C'est un sujet qu'il convient de considérer avec précaution.

Pour RTE, si l'on veut estimer le niveau de sûreté globalement par des chiffres, l'indicateur le plus pertinent est constitué par les nombres d'ESS enregistrés dans l'année pour les niveaux allant de A à F. Ceci peut d'autant mieux être utilisé depuis 2004, puisque l'on a visé avec l'entrée en application de la nouvelle grille d'ESS à améliorer la prise en compte des différents utilisateurs du réseau.

Cependant, quelques chiffres ne peuvent pas rendre

compte du niveau de sûreté, et la déclaration des ESS, si elle est très précieuse, ne rend compte que des incidents, et pas des améliorations. Par ailleurs, compte tenu du faible nombre des événements correspondants, l'occurrence des ESS de niveau B et plus est assez aléatoire au fil des années, et l'expérience montre qu'il faut se garder de tirer des conclusions hâtives d'analyses tendanciennes sur plusieurs années. Pour toutes ces raisons, c'est le *Bilan Sûreté annuel du système électrique français* [1] qui est le plus pertinent pour qualifier le niveau de sûreté, dans la mesure où il rend compte, en cohérence avec la *Politique de sûreté du système électrique* de RTE, de toutes les facettes importantes de la sûreté, et du rôle de chaque acteur dans la construction de la sûreté.

6.4. Appui des ESS pour la conduite des audits sûreté

Les ESS constituent un support puissant pour la conduite des audits sûreté [11].

Au stade amont de la conception du programme d'audits sûreté retenu par la direction de RTE, ils aident à identifier les thèmes les plus pertinents en termes d'analyse de risques.

Ensuite, dans le cadre de chacun des audits, la Mission Audit Sûreté fait une analyse de tous les ESS qui ont un lien avec le thème de l'audit. Ces analyses sont très approfondies et portent sur un nombre et une durée très significatifs. Ainsi, pour l'audit sûreté sur la maîtrise de la tension, ce sont 360 ESS sur une durée de 2 ans qui ont été analysés ; pour l'audit sur la maîtrise du temps d'élimination des courts-circuits ayant affecté le réseau 400 kV, on a étudié 60 ESS survenus en 2 ans ; pour l'audit sur les écarts de fréquence et sur les réserves du réglage fréquence - puissance, on a analysé 251 ESS survenus en 2 ans (sans compter les ESS 0 portant sur les déclenchements de groupes de production) ; et pour l'audit sûreté sur la maîtrise des essais de renvoi de tension et des essais d'ilotage (dispositions adoptées en France pour se préparer à la reconstitution du réseau après un grand incident éventuel), où il était particulièrement important de disposer d'une longue durée d'observation compte tenu du caractère pluriannuel du programme d'essais des scénarios de renvoi de tension, on a pu analyser tous les événements survenus de 2000 à 2005.

En plus des enseignements tirés des ESS au niveau central et au niveau régional en termes d'origine et de causes de dysfonctionnements, la Mission Audit Sûreté procède à l'extraction d'ESS particuliers aux régions ou équipes qu'elle rencontre dans le cadre des entretiens d'audits, et à un croisement avec les informations qui figurent dans les rapports d'exploitation journaliers et hebdomadaires établis sur les mêmes périodes par les équipes Transport et Système. Ceci présente plusieurs avantages :

- il est alors plus facile de discuter avec les interlocuteurs des problèmes qu'ils ont rencontrés, et de faci-

ter ainsi leur perception des risques, avant d'étendre la perspective à d'autres problèmes qui ont pu arriver ailleurs et peuvent donc les solliciter aussi un jour ;

- il est possible de traiter non seulement les problèmes inhérents aux ESS détectés, mais aussi les lacunes dans la détection, le classement et l'analyse des ESS, et même les lacunes dans la grille de classification elle-même ;
- comme la pratique régulière des audits sûreté fait que désormais toutes les équipes savent que les entretiens d'audits conduiront à aborder la pratique locale de détection, de classement et d'analyse des ESS, et ce sur plusieurs années écoulées, et que les éventuelles défaillances seront immanquablement mises en évidence, cela contribue à accroître l'attention portée par les équipes à la qualité de détection et d'analyse des ESS.

6.5. Enseignements tirés des audits sûreté vis-à-vis des ESS

De par l'utilisation très poussée des ESS, les audits sûreté conduisent à donner une vision très aiguë de la façon dont sont assurées la détection et l'analyse des ESS, aux niveaux central, régional, et transverse entre Système et Transport. Chacun des rapports d'audit sûreté comporte un bilan précis sur ce sujet, et analyse aussi la pertinence de la grille des ESS sous l'angle du thème d'audit traité.

De plus, en 2002, un audit sûreté spécifique a été effectué sur le thème du retour d'expérience contribuant à la sûreté, et en particulier sur la détection et l'analyse des ESS ; il est d'ores et déjà fortement envisagé de reprendre ce thème d'audit sûreté en 2008.

Sans pouvoir dire que la pratique des ESS est au niveau optimal, ces analyses ont déjà permis à plusieurs reprises de mettre en œuvre des évolutions pertinentes de la grille d'ESS, un meilleur fonctionnement du retour d'expérience sur la sûreté, ainsi qu'une meilleure utilisation des ESS dans les bilans sûreté régionaux effectués en collaboration par les URSE et UTE, et au niveau des instances de retour d'expérience nationales.

Il reste encore possible et nécessaire de progresser :

- il subsiste une dissymétrie trop marquée dans les rôles des exploitants Transport et Système vis-à-vis des ESS ; trop souvent encore, les exploitants Transport ont tendance à penser que les exploitants Système ont la compétence exclusive sur la sûreté, bien que les audits sûreté aient montré le caractère indispensable d'un croisement des compétences pour une meilleure détection des ESS, une meilleure analyse, une meilleure mise en œuvre d'actions correctives ;
- même si les exploitants s'en disent intimement persuadés, il faut réaffirmer sans cesse que la déclara-

tion et l'analyse de l'ESS est précieuse non seulement pour l'équipe qui a été confrontée à l'aléa, mais aussi aux autres équipes régionales, même (et surtout) si l'aléa n'y est jamais encore survenu ; ceci demande de savoir expliquer, et d'aller jusqu'au bout de l'explicitation et de l'exécution des actions correctives engagées ; trop souvent, la Mission Audit Sûreté a constaté à travers des audits qu'un ESS avait été insuffisamment traité et qu'il y manquait des éléments explicatifs ou bien les conclusions d'actions engagées, et s'est trouvée face à des interlocuteurs (exploitants voire parfois managers) pour qui ce n'était pas un problème, parce qu'eux avaient encore en tête les éléments manquants ;

- il convient de veiller en permanence à l'articulation du retour d'expérience basé sur les ESS et des autres sources de retour d'expérience ; en particulier, il faut toujours éviter que le retour d'expérience basé sur les ESS soit perçu comme confié à une équipe de spécialistes, ce qui conduirait à couper ces personnes des autres équipes, à les priver progressivement de compétence et de légitimité, et risquerait de pousser les autres exploitants à se sentir dégagés de leur implication dans le retour d'expérience basé sur les ESS ;
- enfin, il faut être attentif à ce que le niveau central - managers, fonctions d'expertises situées dans les équipes fonctionnelles Système (DPSAR) et Transport (MPEE), Mission Audit Sûreté - donne des signes montrant que le travail de détection et d'analyse des régions est perçu au niveau national, y fait l'objet d'une lecture attentive, d'interrogations, d'interpellations, et de sollicitations. Ceci est tout particulièrement vrai pour les ESS 0, dont il est impératif de montrer l'utilisation pour des analyses thématiques.

6.6. Retour d'expérience sur la façon de faire évoluer la grille de classification des ESS

Le dernier point de retour d'expérience que nous voulons aborder concerne la façon même de faire évoluer la grille de classification, et nous pouvons ici nous appuyer sur l'expérience acquise au terme d'une quinzaine d'années de pratique des ESS, de plusieurs révisions de la grille de classement où nous avons pu comparer l'effet des modifications avec les intentions initiales, et de cinq ans d'audits sûreté s'appuyant systématiquement sur les ESS.

En premier lieu, il s'avère qu'aucune grille de classification ne saurait sans doute prétendre à la perfection, aussi faut-il compter avec ce facteur.

Pour donner des perspectives d'amélioration d'une grille de classification, il est avant tout essentiel d'engranger de la matière (d'où l'intérêt des ESS 0 et des ESS NC), d'utiliser de façon volontariste les éléments disponibles pour constituer du retour d'expérience élaboré et

vivant ; ceci demande aussi de pouvoir s'appuyer sur des outils informatiques (bases de données) qui soient pratiques à utiliser, tant pour y enregistrer les ESS que pour en assurer l'exploitation.

Plus généralement, il faut éviter tout ce qui peut être frein à la déclaration des ESS. Même si l'outil informatique est convivial et ergonomique, les meilleurs efforts et les plus belles intentions peuvent être en pratique facilement ruinés par un indicateur de pilotage mal conçu qui va venir entraver la transparence dans la déclaration ; il peut en être de même si une mauvaise répartition des libellés d'événement - type dans les domaines de la grille risque de faire porter une responsabilité inappropriée et injustifiée à l'équipe à la source de la déclaration, et dans un tel cas il faut savoir démultiplier le même libellé dans les différents domaines de responsabilité.

Il faut être soucieux de cohérence dans la grille. Une mauvaise cohérence des niveaux de classement entre les différents domaines risque d'introduire des freins du côté des domaines qui se sentiront mal desservis. De même, des ruptures de classement au fil des évolutions risquent de conduire à une perte de légitimité de la grille, ou à un sentiment de travail effectué inutilement chez ceux qui se sont investis dans les années antérieures. Il faut donc accompagner les évolutions en expliquant, et en valorisant les améliorations successives.

Il faut s'assurer que les nouvelles propositions soient applicables. A RTE, la vérification du caractère applicable est facilitée par les revues d'exigence qui doivent être effectuées par les Unités opérationnelles lors de la mise en œuvre de tout nouvel élément du Référentiel d'Exploitation Système. En plus, lors de la révision mise en œuvre au 1er janvier 2004, toute une réflexion a été engagée pour s'assurer que les nouveaux libellés envisagés étaient non seulement pertinents sur le fond vis-à-vis du traitement de la sûreté, mais se prêtaient à une caractérisation explicite.

La question était tout particulièrement difficile pour caractériser des ESS reflétant le domaine de la distribution, alors que le gestionnaire de réseau de transport ne dispose de points d'observation qu'à l'interface entre réseau de transport et de distribution. Dans certains cas, il s'est avéré possible de profiter des ces éléments observables. Dans d'autres cas, il a fallu savoir renoncer à déclarer certaines situations, en gardant en recours un classement à un niveau supérieur en cas d'altération plus profonde de la sûreté : ainsi, il est difficile de savoir en situation courante si les équipements de téléconduite sont bien utilisés par les opérateurs de la distribution pour traiter les informations qui en émanent ; en revanche, à l'occasion d'une situation dégradée, où la caractérisation de l'événement et de l'action du distributeur se manifestent par des échanges d'informations visibles, on peut caractériser la

défaillance en aggravant alors son classement, ce qui aura un effet dissuasif en situation plus courante. Pour en donner une illustration concrète, cette approche a permis de retenir dans le domaine « distribution », au niveau de classement A, le libellé d'ESS « équipement de réception et traitement des ordres de sauvegarde trouvé inopérant à l'occasion de l'émission d'un ordre de sauvegarde », parce que RTE peut identifier sans aucun problème cette situation, alors qu'on a renoncé à un libellé d'ESS 0 « équipement de réception et traitement des ordres de sauvegarde inopérant », parce que RTE n'est pas en mesure d'identifier ces situations plus courantes si le gestionnaire du réseau de distribution ne lui en fait pas part (et si ce gestionnaire n'est pas suffisamment bien organisé pour détecter et tracer correctement ce type de défaillance).

Il faut également compter avec le facteur humain. Nous disions en début de ce paragraphe qu'aucune grille de classification ne peut prétendre à la perfection. Ainsi, pour la révision de début 2004, nous avons cherché à juste titre à nous débarrasser des mentions explicites de matériels défaillants, pour nous orienter vers la caractérisation de fonctions d'exploitation défaillantes. A la lumière des deux années passées, il est probable qu'il faudra approfondir la matérialisation de ce concept, tout en gardant le principe ; en effet, dans la pratique, il semble difficile de faire déclarer par des exploitants (surtout dispatchers) qu'une fonction d'exploitation est affaiblie, tant sont nombreux les moyens qui permettent de contribuer à assurer cette fonction, y compris in fine par le métier et l'expérience de l'exploitant, dont la dégradation est peu caractérisable de façon factuelle jusqu'à occurrence d'un aléa.

Enfin, beaucoup de libellés d'événement - type, malgré toute l'attention qui a pu être apportée à leur conception, pourraient être distordus dans leur interprétation par quiconque voudrait se dispenser de déclarer un ESS qui lui serait désagréable, et, à travers les audits sûreté menés, nous ne manquons pas non plus d'imagination dans ce domaine, mais sans doute n'est-il pas utile de donner ici davantage d'idées à qui en manquerait !

7. Conclusion

Après une quinzaine d'années de détection, de classement et d'analyse, la pratique des ESS est jugée par RTE être un support essentiel pour contrarier les occurrences courantes d'événements d'exploitation susceptibles d'affecter la sûreté du système électrique, et pour contribuer ainsi à empêcher des incidents de plus grande profondeur.

Pour le futur, en raisonnant à long terme, il serait sans doute utile de voir comment cette méthode pourrait être transposée à d'autres systèmes électriques, ou au système électrique plus vaste constitué par l'interconnexion synchrone européenne.

Pour en rester au cadre du système électrique français, la question peut se poser de savoir s'il y a encore beaucoup matière à évolution. Nous serons prudents sur ce point, en pensant qu'il faut éviter que la recherche de la grille de classification idéale soit la quête du Graal, et qu'il faut veiller à ce que les évolutions encore nécessaires de la grille ne se traduisent par des révisions trop fréquentes et mal articulées qui pourraient en affaiblir la légitimité et la mise en œuvre chez les exploitants. Aussi serions-nous tentés de plaider pour admettre de ne pas être parfait. Le Mémento de la sûreté du système électrique de RTE [15]-[16] dit justement que la contribution de l'être humain à la sûreté ne se situe pas seulement comme facteur d'altération de la fiabilité, mais comme facteur d'adaptation, de compensation des insuffisances, et d'amélioration. Compte tenu de l'évidence de l'enjeu sûreté pour les exploitants de système électrique, et de leur souci d'éviter des occurrences de grands incidents, cela ne s'applique-t-il pas à l'utilisation d'une grille de classification des ESS ?

Remerciements

Les auteurs remercient Derek Diamant pour la contribution qu'il a apportée à la culture de sûreté à travers la traduction en anglais de ce document et de communications antérieures [1], [11], [16]. Les auteurs remercient également toutes les personnes qui, au sein des Directions Système et Transport de RTE, détectent et analysent les ESS depuis des années et font ainsi progresser le retour d'expérience et la sûreté du système électrique, ainsi que toutes les personnes qui ont contribué au fil du temps à l'amélioration de la grille de classification des ESS.

Nomenclature

CNES	Centre National d'Exploitation du Système
ESS	Événement Système Significatif (pour la sûreté du système électrique)
HT	Haute tension
RTE	Gestionnaire du réseau de transport de l'électricité en France
THT	Très haute tension
UCTE	Union pour la Coordination du Transport de l'Electricité
URSE	Unité Système Régionale de RTE
UTE	Unité Transport Régionale de RTE

Références

[1] J. M. TESSERON, "Bilan annuel de la sûreté du système électrique français" [accessible en ligne sur internet]. Disponible en français et en anglais pour les années 2002, 2003, 2004, 2005 et 2006 : <http://www.rte-france.com>. (sur la page d'accueil du site, cliquer sur « Clients & acteurs du marché » puis sur « Bilan sûreté annuel »).

[2] J.M. TESSERON, P. BORNARD, "Sûreté du système électrique : prévenir les grands incidents", Congrès Electrotechnique du Futur EF'2003, Gif sur Yvette (France), 9 & 10 décembre 2003.

[3] H. TANAKA, M. KAMINAGA, M. KORMOS, Y. MAKAROV, T. BAFFA SCIROCCO, J.M. TESSERON & I. WELCH, "Cascading Events and How to Prevent them", Very Large Power Grid Operators Working Group, White Paper, October 25, 2005.

[4] A. CHEIMANOFF, "L'incident du 19 décembre 1978 : point de vue de l'exploitant", Revue Générale de l'Electricité, tome 89, n°4, avril 1980.

[5] J.P. BARRET, "L'incident du 19 décembre 1978 : l'incident vu par la simulation", Revue Générale de l'Electricité, tome 89, n°4, avril 1980.

[6] F. MAURY, "Conclusions générales concernant les causes de l'effondrement du réseau du 19 décembre 1978 - mesures adoptées dans le domaine des protections et automates", Revue Générale de l'Electricité, tome 89, n°4, avril 1980.

[7] B. JACOB, "Mesures adoptées à la suite de la panne du 19 décembre 1978 dans le domaine de l'exploitation du système de production et de transport", Revue Générale de l'Electricité, tome 89, n°4, avril 1980.

[8] U.S.-Canada Power System Outage Task Force, "Final Report on the August 14, 2003 Blackout in the United States and Canada, Causes and Recommendations", April 2004.

[9] UCTE, "Final Report of the Investigation Committee on the 28 September 2003 Blackout in Italy", April 2004.

[10] P. FAIRLEY, "The Unruly Power Grid", IEEE Spectrum, August 2004.

[11] J.M. TESSERON, "Sûreté du système électrique français : audit et reporting annuel", Revue de l'Electricité et de l'Electronique, n°8, septembre 2006.

[12] A. CHEIMANOFF, L. FEIGNIER & J.C. GOUGEUIL, "Analyse des incidents d'exploitation conduisant à un fonctionnement dégradé : 1) Facteurs propices à un fonctionnement dégradé et mécanismes correspondants, 2) Analyse de quatre processus de dégradation", Revue Générale de l'Electricité, tome 87, n°3, mars 1978.

[13] J.P. BARRET, A. CHEIMANOFF & F. MAURY, "Conditions générales de conception et d'exploitation d'un système de production et de transport d'électricité : rappel sur les causes générales des incidents graves", Revue Générale de l'Electricité, tome 89, n°4, avril 1980.

[14] J. M. TESSERON, G. TESTUD, D. HOFFMANN & Y. HARMAND, "Les dispositions de défense contre les écroulements du réseau électrique français", Revue de l'Electricité et de l'Electronique, n°9, octobre 2002.

[15] D. HOFFMANN, A. CAYOL, Y. HARMAND & J.M. TESSERON, "Mémento de la sûreté du système électrique" (première édition), ISBN n°2-9513605-0-9, Edition VBD, Montrouge, 1999.

[16] RTE, "Mémento de la sûreté du système électrique" (3^{ème} édition), 2004. [accessible en ligne sur internet]. Disponible en français et en anglais : <http://www.rte-france.com>. (sur la page d'accueil du site, cliquer sur successivement « Nos activités », « RTE garant de la sûreté du système électrique », « Mémento de la sûreté du système électrique »).

[17] M. MUSART, P. VINCENT, T. DHEILLY, J.M. SEVESTRE, A. LA ROCCA, F. TALANDIER, D. DUCLOUX, Y. ENAULT, C. MIOSSEC, D. BRETAUDEAU & P. JUSTON, "Groupe de Travail permanent Incidents ayant affecté le réseau et la pro-

duction", Echos Système, EDF, n°2, avril 1989.

- [18] P. LACAZE, "Grille de classification par gravité ou comment mesurer la sécurité du système", Echos Système, EDF Production Transport, n°14, mai 1994.
- [19] F. BOURGIN, Y. HARMAND, H. PERSOZ, J.M. TESSERON, G. TESTUD & A. TORRA, "La défense en profondeur dans la conduite du système production - transport", Commission Scientifique et Technique d'EDF, 19 septembre 1990.
- [20] E. EUXIBIE, M. GOUBIN, B. HEILBRONN, L. WEHENKEL, Y. XUE, T. VAN CUTSEM & M. PAVELLA, "Perspectives d'application au réseau français des méthodes rapides d'évaluation de la stabilité transitoire et de la sécurité en tension", CIGRE 1992.
- [21] G. TESTUD, A. CAYOL & J.M. TESSERON, "Classification des événements vis-à-vis de la sûreté du système électrique : proposition d'évolution vers un nouveau dispositif", EDF Production Transport, novembre 1996.
- [22] P. SELOSSE, G. TESTUD & J.M. TESSERON, "Révision de la grille de classement des ESS : synthèse", RTE, 28 mai 2003.

L e s a u t e u r s

Jean-Michel Tesson, né en 1950, ingénieur ESE (1972), est entré en 1973 à la Direction des Etudes et Recherches d'EDF où il a mené des travaux sur la protection, les réglages, la conduite et la sûreté des réseaux électriques de transport et de distribution. Il a rejoint en 1992 EDF Production Transport, où il a été chargé de définir des évolutions stratégiques en matière de conduite et de sûreté du système électrique, et a piloté la définition d'évolutions institutionnelles du secteur électrique. Il travaille à RTE, gestionnaire du réseau de transport de l'électricité français, où il est responsable depuis 2001 de la Mission Audit Sûreté. Jean-Michel Tesson est Membre Emérite SEE, et Membre du Comité de Publication de la REE.

Georges Testud, né en 1949, ingénieur ESE (1973), est entré en 1974 à la Direction des Etudes et Recherches d'EDF où il a mené des travaux sur le fonctionnement dynamique des réseaux, puis a piloté le Groupe d'Etudes chargé de la modélisation analogique et numérique des réseaux. En 1988, il a rejoint la Direction EDF Production Transport, où il a été successivement Chef de la Division Doctrine Sûreté, Chef du Département Technique de l'Unité Système Electrique chargée de la région Normandie - Paris, puis auditeur au niveau national à l'Inspection pour la Sûreté et l'Economie du Système (ISES). Il travaille à RTE, gestionnaire du réseau de transport de l'électricité français, où il est Chef de Mission Sûreté et Fonctionnement du Système Electrique. Georges Testud est Membre Senior SEE.