



## LE NOUVEAU SYSTÈME INFORMATIQUE DE CONDUITE EN TEMPS RÉEL DU DISPATCHING NATIONAL D'ÉLECTRICITÉ DE FRANCE

par

J. AUGÉ, R. FERNANDEZ  
Service des Mouvements d'Énergie

A. MERLIN, F. BROUSSOLLE  
Service Études de Réseaux

Electricité de France

(France)

### Résumé

Depuis juillet 1982, un nouveau système informatique a progressivement été mis en service au dispatching national d'E.D.F. pour la conduite en temps réel du réseau de grand transport et d'interconnexion. Le matériel est constitué d'un ensemble de deux mini-ordinateurs à mots de 16 bits fonctionnant en mode normal-secours auquel sont raccordées des consoles comprenant chacune deux écrans graphiques couleurs du type balayage cavalier.

L'objet de ce rapport est de présenter ce nouveau système, le "Sysdic", qui constitue pour E.D.F. la deuxième génération de moyens informatisés de conduite en temps réel de son réseau et de tirer les premiers enseignements, deux ans après le début de sa mise en service. On indiquera comment il s'insère dans l'organisation de la conduite du réseau de transport d'E.D.F. et on soulignera ses caractéristiques particulières à la fois sur le plan du matériel et du logiciel. On insistera tout particulièrement sur les outils qui ont été développés pour aider le dispatcher dans ses prises de décision : calcul d'estimation d'état, d'analyse de sécurité, de dispatching de la production avec contraintes de sécurité, calcul de répartition à la demande.

### Mots-Clés

Conduite des réseaux - Temps réel - Système informatique

#### 1. Introduction

Les progrès considérables de l'informatique industrielle, ces quinze dernières années, l'accroissement important de la puissance et de la fiabilité des mini-ordinateurs, l'évolution technologique rapide dans le domaine des réseaux de transmission de données et des écrans graphiques, la mise au point de méthodes de calcul plus performantes ont rendu complètement obsolètes les systèmes de conduite en temps réel du réseau de transport, installés entre 1968 et 1973 à E.D.F. C'est pourquoi il a été décidé de renouveler complètement ces systèmes. Le dispatching national est le premier des dispatchings à avoir bénéficié dès 1982 de ce renouvellement. Au cours des trois années à venir, les sept dispatchings régionaux vont être à leur tour dotés de nouveaux moyens.

Les avantages attendus de ces changements sont essentiellement :

- une plus faible vulnérabilité du système de conduite obtenue notamment par la mise en place d'un réseau de transmission de données à commutation de paquets, puissant et hiérarchisé, utilisé en temps réel à la fois pour la collecte de l'information et la transmission des ordres de télécommande.
- une plus grande souplesse et une plus grande efficacité dans le dialogue homme-machine, obtenues par l'utilisation d'écrans graphiques polychromes.
- enfin, une meilleure aide à la décision grâce à la mise en oeuvre pour la première fois dans les dispatchings d'E.D.F. de fonctions élaborées de calculs de réseaux en temps réel.

Dans ce rapport, nous nous limiterons au système de conduite en temps réel du dispatching national appelé "SYSDIC". En effet, le réseau de transmission de données en temps réel a déjà été présenté à la CIGRE en 1982 [1] et les systèmes de conduite régionaux feront l'objet d'un rapport ultérieur.

Après un rappel succinct des caractéristiques des moyens de production et de transport d'E.D.F., de l'organisation générale de la conduite de ces moyens, nous nous attacherons à décrire l'architecture informatique du SYSDIC et les principales fonctions qui sont réalisées sur ce système.

#### 2. Caractéristiques principales du système production transport d'E.D.F.

L'énergie électrique consommée en France en 1982 a été de 261,4 milliards de kWh. Cette consommation a été satisfaite pour 40 % par le nucléaire, pour 35 % par le thermique classique et pour 25 % par l'hydraulique. E.D.F. qui a produit 95 % de cette énergie, a fait appel pour cela à environ 450 usines hydrauliques représentant une puissance installée de l'ordre de 17 millions de kW et à 180 groupes thermiques représentant une puissance installée de l'ordre de 62 millions de kW. Ces moyens ont des



### 3. L'organisation de la conduite du système de production et de transport d'E.D.F.

Compte tenu de la taille et de la complexité de ce système, sa conduite est répartie entre sept dispatchings régionaux et un dispatching national. Cette répartition correspond à peu près à la structure hiérarchisée du réseau français, structure dans laquelle on distingue un réseau de grand transport et d'interconnexion constitué principalement par le réseau 400 kV et auquel sont raccordés des réseaux de répartition, de tensions comprises entre 225 et 63 kV.

La conduite du réseau d'interconnexion est sous la responsabilité du dispatching national et celle des réseaux de répartition est du ressort des dispatchings régionaux.

Côté production, les principaux groupes, et en particulier les groupes 900 MW PWR, sont raccordés au réseau 400 kV. Mais il existe encore de nombreux groupes thermiques et surtout hydrauliques de puissance importante (supérieure à 100 MW) qui sont raccordés aux réseaux de tension inférieure. Le dispatching national est responsable de la coordination de la conduite de ces moyens, laissant le soin aux dispatchings régionaux d'élaborer les programmes détaillés de marche et d'arrêt des usines hydrauliques qui débitent sur leurs réseaux de répartition. En effet, il est indispensable de tenir compte dans l'établissement de leur diagramme de fonctionnement des contraintes d'influencement lorsque ces usines font partie d'une même vallée, et corrélativement, des contraintes d'évacuation du réseau auquel elles sont raccordées. Il est clair que ces tâches peuvent difficilement être du ressort du dispatching national.

Une telle organisation n'a pas été sans conséquence sur la structure d'ensemble du système de conduite en temps réel du réseau de transport et sur le partage des fonctions entre les systèmes de traitement du dispatching national et des dispatchings régionaux.

En particulier, cette organisation conduit à transmettre au dispatching national les informations temps réel correspondant au réseau représenté sur la figure 1. La taille de ce réseau était au 1er Juillet 1983 la suivante :

- 69 postes et 267 lignes 400 kV, c'est-à-dire la totalité de ce réseau.
- 105 postes et 115 lignes 225 kV qui jouent encore un rôle d'interconnexion.
- 335 points d'injection de puissance vers les réseaux de tension inférieure.

A cette liste, il y a lieu d'ajouter 36 postes et 89 liaisons représentant les réseaux étrangers proches des frontières.

En ce qui concerne la production, sont transmises au dispatching national, les télémesures de puissance active et réactive relatives à la totalité des groupes raccordés en 400 kV et aux principaux groupes raccordés en 225 kV (231 groupes au total).

### 4. Le système de conduite en temps réel du réseau de transport

Avant de décrire l'architecture informatique du SYSDIC, il nous paraît opportun de rappeler brièvement le schéma d'ensemble du système de conduite en temps réel du réseau de transport d'E.D.F. dont le SYSDIC constitue un des éléments essentiels.

La structure de ce système est calquée sur l'organisation de la conduite du réseau de transport qui a été esquissée au paragraphe précédent et qui est, elle-même, comme nous l'avons souligné, fortement corréllée avec la structure du réseau électrique.

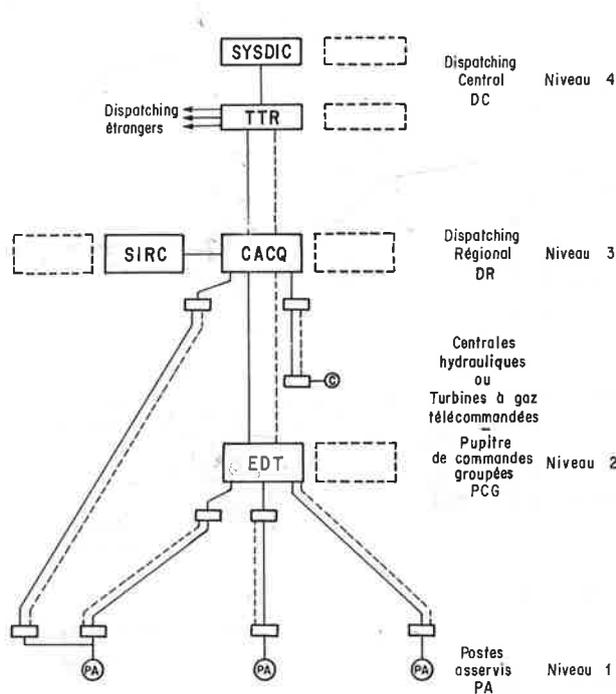


Figure 2 : Schéma d'ensemble du nouveau système temps réel d'Electricité de France

La figure 2 montre les principaux éléments de ce système. On distingue quatre niveaux de conduite :

- le niveau 1 est celui des postes (PA) et des centrales où sont captées les télé-informations et où sont reçus les ordres de télécommande.
- le niveau 2 est celui des pupitres de commande groupée (P.C.G) équipés d'ensemble de traitement (EDT) où sont regroupées les télé-informations avant leur envoi dans les dispatchings et à partir desquels s'effectue la télécommande des ouvrages du réseau.
- le niveau 3 est celui des calculateurs d'acquisition (CACQ) dont le rôle est de mettre sous forme standard, d'étiqueter et de diffuser sélectivement les télé-informations vers les ensembles de traitement des dispatchings régionaux et national. Le niveau 3 est aussi celui des ensembles de traitement des dispatchings régionaux (SIRC) qui constituent les moyens informatiques de conduite en temps réel des réseaux de répartition.
- le niveau 4 est celui du commutateur central du réseau de transmission de données en temps réel (TTR). Ce commutateur joue le rôle de plaque tournante pour les télé-informations en provenance des calculateurs d'acquisition (CACQ) et à destination d'un ensemble de traitement d'un dispatching soit national (SYSDIC), soit régional (SIRC), soit étranger. Le niveau 4 est aussi celui du SYSDIC dont nous allons maintenant décrire la structure informatique.

## 5. L'architecture informatique du SYSDIC

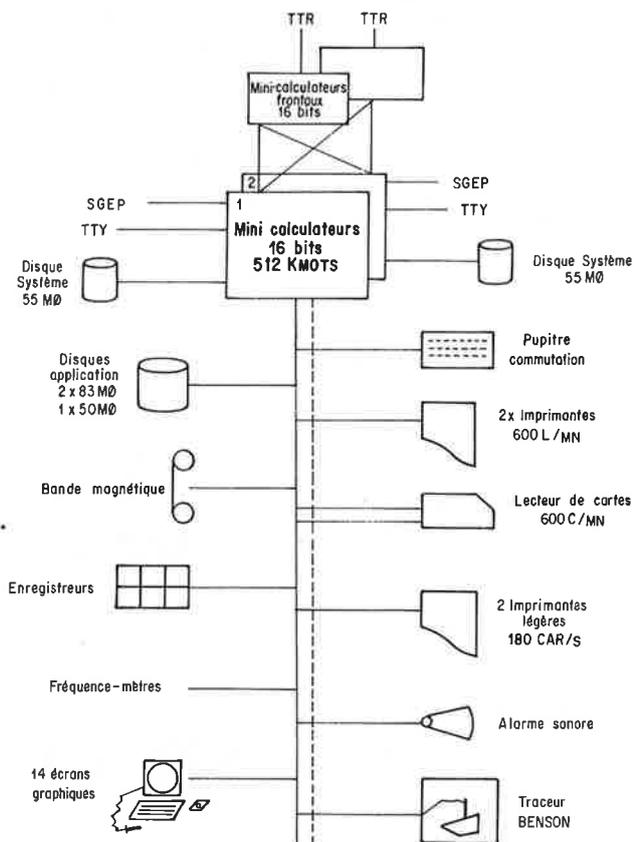


Figure 3 : Configuration du SYSDIC

### 5.1 Les calculateurs

La configuration informatique qui a été retenue est une configuration classique du type normal-secours. Elle comprend deux calculateurs industriels à mots de 16 bits ayant un cycle de base de 150 ns. En mode normal de fonctionnement, l'un des calculateurs est actif et acquiert les informations temps réel en provenance du réseau. L'autre est en secours et est utilisé pour des développements logiciels ou pour la mise à jour de la base de données. En cas de défaut sur le calculateur fonctionnant en temps réel, la commutation est automatique et a lieu en 60 secondes. Une reconfiguration manuelle est toujours possible en cas de pannes croisées complexes ou pour des essais sur la chaîne de secours.

Chaque calculateur dispose d'une mémoire centrale de 1 024 k octets.

### 5.2 Le système de visualisation

Le système de visualisation diffère des systèmes utilisés habituellement dans les dispatchings. Il se compose d'écrans graphiques 4 couleurs à pénétration, de forme circulaire et ayant un diamètre de 16 pouces.

Ces écrans sont regroupés par 2 dans une même console pilotée par une unité de contrôle qui gère la liaison avec le calculateur et qui entretient l'image sur chacun des deux écrans.

La précision de positionnement du spot sur l'écran est de 2 048 x 2 048 points. Les écrans sont regroupés en postes de travail : 2 postes de dispatcher à 4 écrans, un poste information générale et 2 postes de développement à 2 écrans. Les postes de développement étant situés dans un lieu distinct de celui du dispatching, il est prévu qu'ils puissent servir en cas de nécessité de systèmes de conduite de secours.

Le dialogue homme-machine s'effectue au moyen d'un photostyle ou d'une boule roulante, au choix de l'opérateur (les deux moyens de dialogue étant totalement compatibles) et d'un clavier numérique.

Le principal avantage de ce type d'écran est de permettre l'affichage avec une très bonne lisibilité des schémas électriques de réseaux assez denses : à titre d'exemple, le réseau 400 kV français qui comporte 69 postes peut être visualisé complètement à l'aide de deux images avec indication des transits sur les liaisons et représentation des noeuds électriques (cf. figure 4). En outre, le dialogue homme-machine est très simple (surtout avec la boule roulante) et très rapide. Un temps de réponse de une à deux secondes sépare une demande d'image de son affichage. Malgré la finesse de représentation des images réseaux sur ces écrans graphiques, il a été jugé opportun de conserver un synoptique, considéré comme particulièrement utile dans des situations perturbées de réseau et comme un moyen de visualisation de secours en cas de défaillance complète du SYSDIC.

### 5.3 Connexion du SYSDIC avec les autres systèmes de conduite et de gestion du réseau de transport

#### • Connexion avec le TTR

Le SYSDIC est connecté au réseau de transmission de données en temps réel (TTR). L'acheminement de ces informations vers le SYSDIC se fait à partir des calculateurs d'acquisition régionaux (CACQ), via le commutateur central du TTR. Le mode de transmission est un mode de commutation de paquets, sous le contrôle de procédures d'échange conformes aux recommandations de la norme HDLC X 25 du CCITT.

Côté SYSDIC, la gestion de la procédure d'échange est prise en charge par deux calculateurs frontaux fonctionnant comme les calculateurs de traitement en mode normal-secours, les échanges entre calculateurs frontaux et calculateurs de traitement se faisant sous le contrôle d'une procédure simplifiée.

#### • Connexion avec le Système de Gestion Energétique Prévisionnelle (SGEP)

Le SYSDIC est également connecté au système de gestion prévisionnelle des moyens de production et de transport (SGEP), lequel utilise comme support informatique les moyens de calcul scientifique et technique d'E.D.F. (cf. 2), totalement distincts de ceux mis en oeuvre pour la conduite en temps réel.

L'intérêt d'une connexion "en ligne" de ces deux systèmes est de pouvoir transférer :

- du SGEP vers le SYSDIC, les programmes de marche et d'arrêt des groupes de production pour la journée à venir, les prévisions de consommation à 24 heures, les caractéristiques électriques des ouvrages mis à jour sur le système prévisionnel.

- du SYSDIC vers le SGEP des réalisations correspondant à des situations observées en temps réel et utilisables pour des études de réseaux prévisionnelles.

Cette connexion s'effectue par l'intermédiaire du réseau de transmission de données RETINA (Réseau Télé-Informatique National) qui a pour vocation de relier entre eux tous les systèmes informatiques de gestion technique, comptable et financière d'E.D.F.

## 6. Les fonctions du SYSDIC

Les fonctions du SYSDIC peuvent être réparties en deux catégories bien distinctes :

- les fonctions qualifiées d'analyse primaire qui sont désormais des fonctions classiques dans les systèmes de conduite en temps réel des réseaux. Elles concernent l'acquisition des télé-informations, leur visualisation, leur archivage, le dialogue homme-machine, la surveillance des dépassements de seuil de transit ou de tension jugés critiques par le dispatcher et le réglage fréquence puissance.
- les fonctions qualifiées d'analyse secondaire qui sont des fonctions nouvelles d'aide à la conduite en temps réel. Elles permettent d'analyser l'état dans lequel se trouve le réseau en temps réel et de proposer, s'il y a lieu, des modifications à effet immédiat pour améliorer son fonctionnement à la fois sous l'angle de l'économie et de la sécurité. Ces fonctions mettent en oeuvre des méthodes de calcul de réseaux très élaborées. Elles sont au nombre de quatre : l'estimation d'état, l'analyse de sécurité, le dispatching de la production et le calcul de répartition à la demande.

Nous allons décrire rapidement chacune de ces fonctions en insistant plus particulièrement sur les fonctions d'analyse secondaire qui constituent la principale originalité du SYSDIC.

### 6.1 Les fonctions d'analyse primaire

#### 6.1.1 Acquisition des télé-informations

Environ 2 000 télémessures et 5 500 télé-signalisations sont acquises par le SYSDIC, en temps réel. Toute télémessure est transmise avec un cycle de récurrence de 10 secondes. Une télé-signalisation n'est transmise que lorsqu'il y a un changement d'état. Toutefois, il est possible, lorsqu'il y a contrôle général de leur état, de transmettre l'ensemble des télé-signalisations au SYSDIC. Ce contrôle est effectué automatiquement à chaque incident de fonctionnement du réseau TTR ou du SYSDIC, (commutation, perte momentanée des liaisons téléphoniques...).

Les télé-informations sont contrôlées à leur réception et des listes d'anomalies associées à une alarme sont affichables sur les écrans à la requête du dispatcher. Les valeurs des télémessures affichées sur les écrans sont renouvelées toutes les 10 secondes. Le schéma électrique du réseau est mis à jour automatiquement après chaque changement d'état d'organe de coupure et le changement d'état est affichable sur écran, directement par désignation d'un libellé (cf.6.1.3).

#### 6.1.2 Archivage des télé-informations

Les télé-informations reçues sont archivées en vue de leur affichage à la demande ou d'études à postériori.

Cet archivage est effectué :

- pendant 5 jours par point 15 minutes,
- pendant 15 minutes par point 10 secondes.

Il s'agit d'archives tournantes, les points les plus anciens étant remplacés par les plus récents. Par ailleurs, sont archivés :

- à minuit, l'état de toutes les télé-signalisations,
- pendant 5 jours, tous les changements d'état dans l'ordre chronologique.

#### 6.1.3 Le dialogue homme-machine

Toutes les informations reçues en temps réel ou archivées sont affichables à tout instant à la requête du dispatcher sur les écrans de visualisation.

Il existe 65 types d'images différentes classées en diverses catégories. Deux exemples d'images sont données figures 4 et 5 pour illustrer les possibilités des écrans graphiques à pénétration.

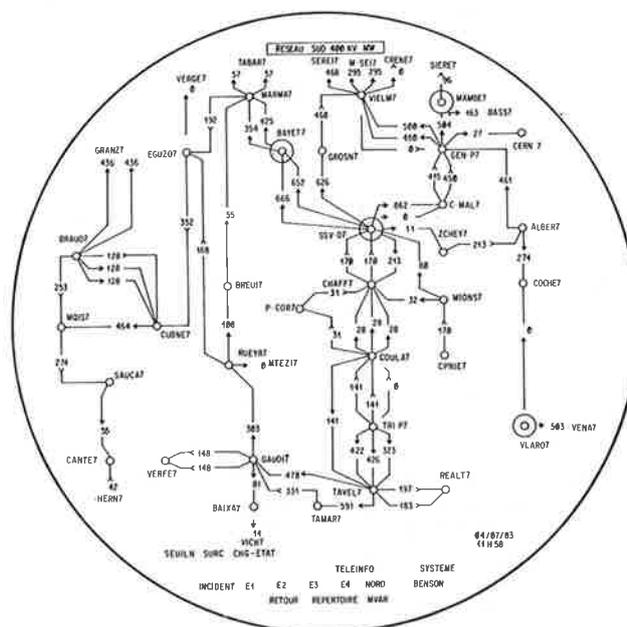


Figure 4 : Exemple d'image sur écran graphique "Le schéma du réseau 400 kV - Partie Sud"

Le principe du dialogue homme-machine du SYSDIC est de parcourir une arborescence par désignation d'un libellé sur l'écran. La racine de cette arborescence est constituée par une image répertoire à partir de laquelle s'initialise le dialogue. L'opérateur progresse ensuite d'une image affichée sur l'écran à une autre image par désignation d'un libellé. Ce libellé est situé dans une zone de service de l'image affichée sur l'écran ou bien, fait partie intégrante de cette image. Par exemple, l'image d'un poste peut être obtenue par désignation du nom du poste figurant sur une

image du réseau. Sur toute image, un libellé retour permet de revenir à l'image précédente et de parcourir ainsi l'arborescence en sens inverse. Le nombre de niveaux de l'arborescence est limité à quatre pour ne pas rendre trop complexe la recherche d'une image. Les images les plus importantes comme les schémas de réseau 400 kV ou les images du réglage fréquence puissance peuvent être obtenues directement à partir de l'image répertoire. Par ailleurs, sur toute image, la zone du bas est réservée aux libellés des alarmes gérées par le SYSDIC. Chaque fois qu'une nouvelle alarme est détectée, le libellé correspondant clignote sur l'écran. Par désignation de ce libellé, on obtient l'affichage direct de l'information détaillée relative à cette alarme et l'acquit de cette information si la désignation a été faite à partir de la console du dispatcher. Le libellé retour permet de revenir à l'image qui était affichée avant consultation de l'alarme.

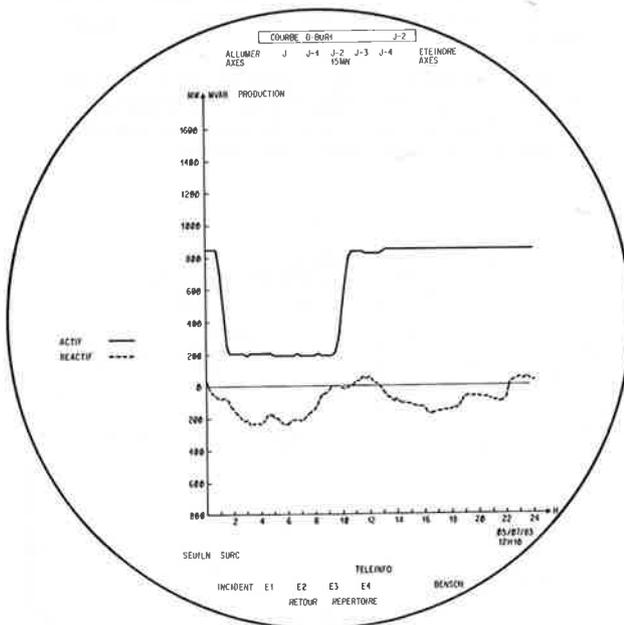


Figure 5: Exemple d'image sur écran graphique  
"La courbe journalière de production  
d'un groupe nucléaire"

#### 6.1.4 Surveillance de seuils

- le mode de surveillance

Il est possible d'introduire pour chaque ouvrage un seuil de surveillance. Lorsqu'une télémessure de transit ou de tension franchit ce seuil, une alarme est générée automatiquement par le système informatique et provoque le clignotement du libellé d'alarme correspondant sur l'écran. Les noms des ouvrages dont la téléalarme a franchi le seuil fixé figurent dans une image d'anomalies avec indication de la valeur du seuil et de la valeur de la télémessure.

- les ouvrages en surveillance.

Le dispatcher peut mettre en surveillance tout ouvrage de son choix. Toutes les caractéristiques essentielles des ouvrages mis en surveillance sont rassemblées sur une image spécifique mise à jour automatiquement par le calculateur et affichable à la requête du dispatcher.

#### 6.1.5 Réglage fréquence puissance

La fonction de réglage fréquence puissance qui est un réglage de type intégral est assurée en situation normale par le SYSDIC pour l'ensemble du réseau français.

A partir de la fréquence du réseau déterminée toutes les secondes par deux fréquencemètres, des télémessures de transit des lignes d'interconnexion internationale et des télémessures de puissance des groupes à participation étrangère, est élaboré l'ordre de réglage qui est envoyé toutes les 5 secondes aux centrales. En cas de défaillance simultanée des deux calculateurs du SYSDIC, le secours est assuré par un processeur autonome.

#### 6.2 Les fonctions d'analyse secondaire

Il s'agit là essentiellement de fonctions de calculs de réseaux effectués en temps réel à l'aide de modèles mathématiques. Ces fonctions complètent très logiquement les fonctions d'analyse primaire évoquées ci-dessus et avant de décrire ces fonctions, il paraît utile de présenter succinctement la manière dont elles sont structurées.

##### 6.2.1 Organisation des fonctions d'analyse secondaire

Ces fonctions sont structurées en deux chaînes de traitement :

- une chaîne récurrente d'analyse et d'amélioration de la sécurité qui est activée toutes les 15 mn de façon automatique et qui comporte :
  - une fonction d'estimation d'état du réseau actif-réactif,
  - une fonction d'analyse de sécurité en actif seul,
  - un ensemble de deux fonctions de dispatching de la production (en actif seul) en économie et en sécurité.
- une chaîne d'études de réseau à la demande

Complément indispensable de la chaîne précédente, elle permet un calcul plus précis des marges de sécurité dans les situations difficiles détectées par la fonction d'analyse de sécurité ou indiquées par le dispatcher.

Cette chaîne comporte :

- une fonction d'estimation d'état qui est la même que celle de la chaîne récurrente.
- une fonction de calcul de répartition en actif-réactif pour simuler de manière précise, cas par cas, les conséquences d'un incident sur la répartition des transits et sur la tenue de la tension.

##### 6.2.2 L'estimation d'état du réseau

La fonction d'estimation d'état joue un triple rôle :

- elle rend cohérente entre elles les informations que l'on reçoit du réseau à chaque instant et qui sont nécessairement entachées d'erreurs, ce qui permet d'effectuer des calculs de réseaux maillés plus précis.
- elle détecte les erreurs grossières dans le flot des télé-informations qui parviennent au dispatching national ; ce qui permet d'effectuer des calculs de réseaux plus fiables.

- elle complète enfin le plan de télémesures en rendant possible le calcul des grandeurs non télémesurées du fait de l'absence ou de l'invalidation de certaines télémesures.

Elle constitue un préalable à toutes les autres fonctions d'analyse secondaire. Elle comprend quatre phases principales :

- des contrôles logiques des télé-informations,
- des tests sur l'observabilité du réseau dont on veut estimer l'état,
- un calcul d'estimation d'état proprement dit,
- une identification des mesures grossièrement erronées par une analyse statistique des résultats du calcul précédent et retour à la phase 2, après suppression de ces mesures, si le résultat de ces tests est positif.

● les contrôles logiques

Les "contrôles logiques" ont pour rôle de réaliser des tests de vraisemblance sur les télémesures et télésignalisations, en vérifiant leur cohérence les unes par rapport aux autres.

Les contrôles logiques ont un double but :

- alerter l'opérateur lorsque la qualité des télé-informations se dégrade et l'aider à localiser les incohérences ;
- obtenir une meilleure efficacité de l'estimateur d'état en lui évitant de prendre en compte des informations notoirement erronées.

Les principaux tests réalisés sur les télé-informations sont les suivants :

- bilan de puissance par poste et par noeud électrique,
- cohérence entre transits nuls et organes de coupure ouverts.

Les résultats de ces tests sont consignés dans deux images de type liste qui sont tenues à jour régulièrement :

- la liste des télésignalisations erronées, destinée aux opérateurs, qui contient toutes les anomalies avec l'heure de leur apparition,
- la liste des télémesures notoirement fausses qui ne doivent pas être prises en compte dans l'estimation d'état.

● Tests d'observabilité

Un réseau est dit observable, si, compte tenu de sa topologie et des mesures utilisables à l'instant considéré, il est possible de reconstituer complètement l'état électrique de ce réseau.

Les tests d'observabilité sont destinés à vérifier que l'ensemble du réseau est bien observable et sinon à déterminer les parties observables et celles qui ne le sont pas. Dans ce dernier cas, l'observabilité est rétablie sur l'ensemble du réseau par ajout de pseudomesures d'injections actives et réactives aux noeuds de parties non observables. De cette façon, la redondance des mesures est conservée sur les parties observables et réalisée à minima sur les parties non observables. Et le choix des pseudomesures n'a aucune incidence sur l'estimation d'état des parties observables. De tels tests d'observabilité sont un préalable indispensable au calcul d'estimation d'état proprement dit. Ils garantissent, en effet, que ce calcul pourra être mené à son terme dans tous les cas.

● Le calcul d'estimation d'état proprement dit

La méthode de calcul retenue est la méthode des moindres carrés pondérés. A partir des télémesures de transits sur les liaisons, des télémesures d'injection et de tension, sont calculées les valeurs des variables d'état du réseau, c'est-à-dire les tensions en modules et phases en tous les noeuds, les plus vraisemblables.

La méthode de résolution est une méthode de Newton-Raphson qui tire parti de la structure creuse des matrices de réseaux qui relient entre elles toutes les grandeurs intervenant dans le calcul.

● Analyse statistique des résultats de l'estimation d'état et identification des erreurs de mesures grossières

A l'issue du calcul d'estimation d'état, on effectue un test statistique (test du  $\chi^2$ ) sur la valeur du critère des moindres carrés. Si ce test est négatif, on admet qu'il n'y a pas d'erreurs grossières de télémesures. Dans le cas contraire, des tests sur les résidus de mesures, c'est-à-dire sur l'écart entre la valeur brute et la valeur estimée de chaque mesure permettent d'identifier les mesures susceptibles d'être erronées.

● Données d'entrée

La fonction d'estimation d'état utilise trois types de données différentes :

- les caractéristiques électriques des ouvrages du réseau de transport français et des équivalents passifs, des réseaux étrangers. Grâce à ces équivalents, le calcul déterminera de lui-même les injecteurs équivalents aux noeuds frontières correspondant à la situation du réseau estimée en temps réel.
- la position des prises des transformateurs et le schéma électrique du réseau, lequel est élaboré par un programme de traitement de la topologie à partir des positions réelles des sectionneurs et disjoncteurs, transmises en temps réel au dispatching.
- les télémesures provenant du réseau.

● Résultats

Le résultat principal de l'estimateur d'état est de constituer une base de données cohérente pour les calculs d'analyse de sécurité, de dispatching de la production et de répartition à la demande. Il permet en outre de tenir à jour une liste de télémesures erronées.

A la demande de l'exploitant, toutes les grandeurs estimées peuvent être visualisées et viennent renseigner les trames des schémas temps réel utilisées pour la surveillance du réseau. Par ailleurs, ces grandeurs sont stockées sur mémoire de masse de façon à servir de base aux analyses à postériori.

La récurrence des calculs est de 15 minutes.

6.2.3 Analyse de sécurité

Le rôle de cette fonction est de mettre en évidence les surcharges potentielles qui résulteraient du déclenchement inopiné d'un ouvrage de production ou de transport, figurant dans une liste établie

préalablement par l'opérateur. Cette fonction comporte deux phases essentielles :

- l'analyse des déclenchements des ouvrages de transport pour laquelle on admet que les injections en puissance restent invariantes à la suite de ces déclenchements.
- l'analyse des déclenchements des ouvrages de production pour laquelle on admet que la compensation de la puissance défaillante est réalisée proportionnellement aux statismes des groupes en fonctionnement sur le réseau (y compris l'apport des réseaux étrangers).

#### ● Principes de la méthode de calcul

Il s'agit, pour chaque situation d'incident, d'effectuer un calcul de réseau maillé, c'est-à-dire de déterminer à partir des injections estimées en temps réel, les transits sur l'ensemble du réseau. Afin de pouvoir simuler dans un temps raisonnable, le maximum d'incidents, le calcul est fait dans l'approximation du courant continu. La méthode tire parti comme dans le cas de l'estimation d'état, de la structure creuse des matrices de réseau.

#### ● Données d'entrée

Le programme d'analyse de sécurité utilise trois types de données différentes :

a) les caractéristiques électriques des ouvrages de transport y compris les équivalents passifs des réseaux extérieurs ainsi que la valeur des statismes des groupes.

b) la topologie temps réel et la valeur des injections issues du calcul d'estimation d'état.

c) la liste des ouvrages dont on veut simuler le déclenchement. Cette liste est introduite par l'opérateur.

Le choix d'un nouvel ouvrage à déclencher s'effectue au moyen des écrans de dialogue, à partir des images temps réel du réseau, par désignation de l'ouvrage choisi. La liste est alors mise à jour automatiquement.

#### ● Résultats

Lorsque le programme détecte des nouvelles surcharges consécutives aux déclenchements simulés, une alarme apparaît sur les écrans de visualisation. Pour chacune des surcharges, on rappelle la liaison déclenchée et la liaison surchargée. En outre, qu'une liaison soit en surcharge ou non, l'opérateur peut visualiser les plus grands coefficients de reports de charge rencontrés lors des simulations de déclenchements.

### 6.2.4 Le Dispatching temps réel de production

Il s'agit d'un ensemble original de deux fonctions d'aide à la conduite qui, suivant les cas, permet d'accroître soit l'économie, soit la sécurité du système production-transport.

#### ● La fonction "dispatching économique"

Elle est activée dans la chaîne récurrente 15 mn en l'absence de contraintes  $n$  ou  $n-1$  constatée par l'analyse de sécurité. Le modèle détermine les groupes de production dont il faut modifier la puissance active pour minimiser le coût global de production en tenant compte des pertes actives dans les lignes et en respectant les contraintes de sécurité du réseau. Le calcul est fait à module de tension fixée.

#### ● La fonction "dispatching en sécurité"

Elle est activée automatiquement dans la chaîne récurrente lorsque l'analyse de sécurité détecte une ou plusieurs contraintes  $n$  ou  $n-1$ . Le modèle privilégie alors la sécurité à l'économie et propose une modification du plan de production permettant d'éliminer les contraintes de réseaux rencontrées. Eventuellement, le modèle propose des délestages judicieux de consommations lorsque les modifications du plan de production ne peuvent éliminer totalement ces contraintes.

#### ● Données d'entrée

Les données nécessaires au calcul de dispatching temps réel de la production sont de trois types :

a) les caractéristiques fixes :

- caractéristiques électriques des ouvrages de transport ;
- caractéristiques technico-économiques des groupes de production : puissance maximale, minimum technique, gradients de montée et de baisse de charge, coût marginal de production.

b) la topologie temps réel du réseau, la valeur des injections et les modules et les phases des tensions issues du calcul d'estimation d'état, les puissances produites à l'instant  $t$ .

c) les surcharges détectées par la fonction de surveillance de seuil ou les surcharges potentielles mises en évidence par l'analyse de sécurité.

#### ● Résultats

Le calcul du dispatching fournit les résultats suivants :

a) S'il n'y a pas de surcharge :

- la liste des groupes à la baisse par rapport à la situation à l'instant  $t$ , classés dans l'ordre de leurs coûts décroissants et la liste des groupes à la hausse, classés dans l'ordre de leurs coûts croissants, pondérés par les coûts "réseaux".\*

b) S'il y a des surcharges :

- la liste des groupes à la hausse et à la baisse par rapport à la situation à l'instant  $t$ , classés cette fois-ci dans l'ordre des variations de puissance décroissante, afin de pouvoir éliminer le plus rapidement possible ces surcharges.

### 6.2.5 Calcul de répartition à la demande

Cette fonction complète l'analyse de sécurité en courant continu qui convient bien pour calculer rapidement les conséquences possibles d'un grand nombre de déclenchements éventuels figurant sur une liste établie à l'avance.

Le calcul de répartition est lancé à la demande, de l'opérateur, pour étudier dans le détail les cas difficiles détectés par l'analyse de sécurité. Il permet en particulier de suivre l'évolution du plan de tension compte tenu des limitations de fourniture ou d'absorption de réactifs des groupes et d'évaluer avec une plus grande précision les reports de charge consécutifs aux déclenchements simulés.

\* N.B. : La notion de coût "réseau" est explicitée dans [5]

● Données d'entrée

Le calcul utilise trois types différents de données :

- les caractéristiques électriques du réseau et du parc de production, y compris les limites de transit en ampères et les plages de fourniture et d'absorption des groupes en réactif (plages éventuellement fonctions des niveaux de production de puissance active).
- l'état de fonctionnement du réseau : topologie et injections estimées.
- la liaison ou le groupe dont on simule le déclenchement.

● Le dialogue opérateur

La mise en oeuvre de cette fonction est pilotée à partir des écrans de visualisation. Le dialogue avec l'opérateur s'effectue à l'aide de la boule roulante et du clavier alphanumérique de la console.

Les principales commandes sont les suivantes :

- simulation de déclenchement,
- sélection des résultats à afficher,
- modification des données (limite de tension par exemple),
- en cas de dépassement des capacités de fourniture ou d'absorption de réactif des groupes, fixation du niveau de production à leur limite supérieure ou inférieure, la tension dans ce cas n'étant plus tenue aux bornes de ces groupes,
- reprise de l'étude à partir du cas de base.

● Résultats

Le calcul de répartition à la demande fournit les résultats suivants :

- liste des surcharges sur les liaisons et les transformateurs,
- liste des liaisons les plus chargées,
- liste des noeuds où il y a dépassement du seuil de tensions admissibles,
- liste de groupes en butée de réactif (en limite de fourniture ou d'absorption),
- transits en puissances actives, réactives, en ampères et pertes sur l'ensemble du réseau,
- report de charge et écarts de tension après simulation de déclenchement.

#### 6.2.6 Bilan d'utilisation

Depuis plusieurs mois, les deux chaînes d'analyse secondaire (chaîne récurrente, chaîne à la demande) sont utilisées pour la formation des utilisateurs plusieurs heures par jour. Leur mise en service opérationnelle est prévue pour novembre 1983 et on peut d'ores et déjà effectuer un bilan de l'utilisation de cet ensemble.

1) Ces outils sont bien acceptés par les exploitants qui apprécient pleinement les études de sécurité permettant de mieux connaître les limites de fonctionnement du réseau.

2) Le modèle d'estimation d'état est très fiable et ne demande pas trop d'interventions manuelles ; mais il est certain que, pour l'instant, on manque de recul et il sera intéressant de faire ultérieurement un bilan complet s'appuyant sur des statistiques plus importantes (lors de la réunion du groupe 39 de la CIGRE en septembre 1984 par exemple).

#### 7. Conclusion

Les premiers systèmes informatiques de conduite en temps réel des réseaux ont été installés dans les dispatchings d'E.D.F. entre 1968 et 1973. Ces moyens de traitement numérique de l'information ont permis d'accroître le volume des données temps réel collectées sur le réseau, de les visualiser sur écran cathodique de manière sélective et de les archiver sur mémoire de masse magnétique. Il en est résulté une plus grande efficacité dans la surveillance du réseau et de ce fait, une véritable mutation dans les méthodes de conduite en temps réel.

Cependant, en raison de l'évolution très rapide des techniques informatiques au cours de ces quinze dernières années, ces systèmes sont devenus, aujourd'hui, complètement obsolètes et doivent être remplacés par des calculateurs plus modernes. Le dispatching national est le premier des dispatchings d'E.D.F. à avoir bénéficié, dès 1982, de ce renouvellement.

En plus des fonctions désormais classiques d'acquisition, de visualisation et d'archivage de l'information, de nouvelles fonctions d'aide à la décision basées sur des méthodes de calcul de réseaux très élaborées, ont pu être mises en oeuvre sur ces nouveaux systèmes.

Il s'agit là d'un progrès important dans la conduite des réseaux. Grâce à ces fonctions, le dispatcher peut en effet réaliser un meilleur arbitrage entre les économies de combustible et la sécurité de fonctionnement de réseau. Il lui reste toutefois à assurer une bonne continuité entre les programmes d'utilisation des équipements prévus la veille pour le lendemain et les ajustements effectués en temps réel. Il ne dispose pas actuellement d'outils de calcul efficaces pour l'aider dans cette tâche. Nul doute que le développement de ces moyens constituera la prochaine étape importante dans l'évolution des techniques de conduite des réseaux de transport à E.D.F.

#### 8. Bibliographie

[1] R. ABELLA, G. SIMONNET  
"Conduite en temps réel du réseau EDF - Structure du réseau de télé-information et de télécommande" CIGRE Session 1980 Rapport 35-07

[2] C. MESTRES, A. MERLIN, R. CONRAD, F. LEFEUVRE

L'introduction dans les dispatchings d'EDF d'un nouveau système informatique pour la gestion prévisionnelle des moyens de production et du réseau (SGEP). Session 1974. Rapport 32-10.

[3] J. KOWAL, A. MERLIN, J. STENGEL  
"The new real time control system for E.D.F generation and transmission facilities" Symposium IFAC Melbourne Février 1977.

[4] D. BOTREL et G. GEOFFROY  
"Use of random scanned full graphic display on the EDF national control centre" IEE conference on power system monitoring and control Londres Juin 1980.

[5] A. MERLIN, F. BROUSSOLLE  
"The decision making functions of the new real time system of the national control centre of EDF" IEE conference on power system monitoring and control Londres Juin 1980.

