Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 78 (1987)

Heft: 13

Artikel: Développement de l'utilisation des moyens informatiques pour la planification et la simulation des réseaux électriques

Autor: Germond, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-903877

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 13.07.2025

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

Développement de l'utilisation des moyens informatiques pour la planification et la simulation des réseaux électriques

A. Germond

Cet exposé a pour objectif de décrire les grandes lignes de l'évolution des moyens, matériels et logiciels, d'analyse et d'optimisation des réseaux électriques et les perspectives d'avenir. Dans la dernière partie, on situe dans ce contexte les présentations de la Journée ETG, et les démonstrations organisées en complément aux conférences.

Die vorliegende Einführung gibt einen Überblick über die Entwicklung des für Analyse und Optimierung von elektrischen Netzwerken zur Verfügung stehenden Materials (sowohl Hardware als auch Software) und zeichnet Perspektiven für die Zukunft auf. Unter diesem Gesichtspunkt werden im letzten Teil die Vorträge und Vorführungen der ETG-Tagung erläutert.

Exposé d'introduction présenté lors de la Journée d'information ETG (ASE) du 17 mars 1987 «Conception des réseaux d'énergie électrique assistée par ordinateur» à l'EPF Lausanne.

Adresse de l'auteur
Professeur Dr *A. Germond*, Laboratoire de réseaux électriques EPF-Lausanne, 16, chemin de Bellerive, 1007 Lausanne.

1. Les problèmes à résoudre

1.1 Objectifs de la planification et méthodologie

La planification des systèmes électriques consiste à choisir des équipements (centrales de production, lignes de transport, transformateurs, sous-stations, éléments d'un réseau de distribution), leur taille, leur emplacement et leur date d'installation, de façon à minimiser l'espérance de la somme des coûts d'investissements et des coûts de production sur une période donnée, tout en respectant un certain nombre de contraintes techniques et d'environnement, de délais de construction liés aux différents équipements et en tenant compte des aléas de la consommation. De plus, des critères de qualité de service doivent être remplis.

Un tel problème d'optimisation est d'une telle dimension qu'il doit être subdivisé. Une analyse des fonctions d'un système électrique et de la contribution respective de ses éléments au coût de l'ensemble permet de décomposer cette tâche en:

- système de production: ensemble des centrales
- réseau de transport et de répartition, maillé
- réseau de distribution, radial

et de chercher à optimiser indépendamment chaque sous-système.

L'optimum est souvent obtenu au moyen d'un modèle passablement simplifié et il convient de procéder à une analyse plus approfondie de la ou des solutions retenues, par exemple une simulation des coûts d'exploitation pour un système de production et des calculs d'écoulement des puissances ou de stabilité pour un réseau de transport. L'ensemble du procédé est représenté au tableau I.

1.2 Le système de production

Au niveau de la planification, il convient de déterminer le parc de production requis pour obtenir un degré spécifié de qualité du service, compte tenu de l'indisponibilité des centrales, et d'évaluer les coûts de production. Il existe un modèle très connu, le WASP (Wien Automatic System Planning Package) [1].

Au niveau de l'exploitation de systèmes existants, il s'agit d'établir une gestion prévisionnelle des réservoirs hydrauliques, des centrales thermiques et des échanges par les interconnexions, pour des périodes annuelles [2] ou plus courtes.

1.3 Planification des réseaux de transport et de répartition

On admet que les charges, les moyens de production et leur emplacement sont connus et que l'on cherche à minimiser la somme des frais d'investissement et d'exploitation du réseau de transport sur une période de plani-

Décomposition du système
|
Modèle des sous-systèmes
|
Définition des contraintes
|
Définition des critères d'évaluation
|
Recherche d'un optimum
|
Analyse, simulations
|
Synthèse

Tableau I Méthodologie pour l'analyse d'un système électrique

fication. Les contraintes à observer sont:

- les transits sur les éléments du réseau (lignes et transformateurs)
- le niveau de tension
- les puissances de court-circuit
- le comportement dynamique en cas de perturbation
- des niveaux de surtensions transitoires compatibles avec les appareillages
- le taux de défaillance (puissance non délivrée) aux nœuds.

Des modèles ont été développés pour analyser les réseaux électriques du point de vue de ces contraintes:

L'écoulement des puissances en régime permanent (en anglais load-flow) a pour but d'évaluer si des éléments du système de transmission sont surchargés et si le niveau de tension est satisfaisant en chaque poste. Une extension de ce problème consiste à répartir les productions de puissance active et réactive disponibles de façon à minimiser un certain objectif (par exemple le coût de production ou les pertes provoquées par le transit des puissances réactives) tout en respectant des contraintes sur les tensions et les transits de courant. Cet outil, dénommé load-flow optimal, permet de tenir compte de certains critères de sécurité dans l'analyse d'un réseau de transport et d'optimiser les productions de puissances réactives.

Le calcul des courants de court-circuit pour divers types de défauts, principalement triphasés et monophasés, permet de dimensionner les disjoncteurs et de coordonner les systèmes de protection.

L'étude de la stabilité statique et transitoire permet de vérifier que les caractéristiques et l'emplacement choisis pour les centrales et pour la protection ne provoquent pas d'oscillations de puissances non amorties ou de pertes de synchronisme dans le réseau, pour des cas donnés de perturbations. La solution de ces études permet de déterminer par exemple les temps de déclenchements admissibles et les cycles de réenclenchement rapides et aussi d'étudier le comportement des régulateurs.

L'évaluation de la fiabilité d'un système de production couplé à un réseau de transport permet de vérifier qu'un système répond à un critère de qualité de service donné, par exemple que la probabilité de défaillance est inférieure à un seuil spécifié.

L'étude de la *coordination de l'isolement* consiste à analyser la propagation des surtensions transitoires (foudre, surtensions de manœuvre) et à évaluer les dispositifs permettant de protéger l'appareillage.

1.4 Le système de distribution

Les réseaux de distribution sont la plupart du temps exploités en boucles ouvertes pour permettre de réaliser une protection unidirectionnelle. La configuration du système peut être modifiée pour permettre de faire face à des défaillances dans l'appareillage et les lignes ou à une évolution des charges dans certaines régions.

L'un des problèmes de la planification des réseaux de distribution consiste à déterminer une structure d'exploitation optimale, compte tenu de critères de sécurité, de niveau de tensions aux nœuds et des pertes dans le réseau. Un autre problème d'optimisation est la recherche des emplacements, tailles et dates d'installation de sous-stations de distribution dans un réseau dont les charges évoluent.

2. La CAO des réseaux électriques

2.1 Les objectifs

La CAO des réseaux électriques vise à rendre l'emploi de ces différents modèles plus efficace en facilitant la détection d'erreurs, en simplifiant la préparation des données, l'interaction entre les modèles et l'interprétation graphique des résultats. Cet objectif est aujourd'hui sur le point d'être réalisé de façon satisfaisante.

Dans le contexte de la formation des ingénieurs, tous ces outils jouent un rôle irremplaçable pour la compréhension des phénomènes physiques des réseaux électriques par la simulation.

2.2 Les premiers moyens numériques

Les moyens d'analyse des réseaux d'énergie électrique par ordinateur ont été développés à partir des années 1960. C'est à cette époque (1958) que les premières interconnexions internationales, à courant alternatif, furent réalisées et mises en service en Europe. Dans le domaine du matériel informatique, seules quelques entreprises électriques, quelques constructeurs de matériel et quelques universités disposaient de moyens de calcul permettant d'envisager l'analyse de problèmes concrets posés par l'interconnexion des réseaux. Pour donner un ordre de grandeur, les ordinateurs scientifiques les plus performants disposaient alors de 32 000 mots de mémoire vive à ferrites, alors qu'une station graphique actuelle a une mémoire de l'ordre de 10 millions de mots. L'entrée des informations avait lieu par cartes perforées, la sortie sur imprimante. Les premières versions du langage FORTRAN étaient déjà disponibles.

Dans ce contexte, les principales préoccupations des ingénieurs ont consisté en premier lieu à maîtriser les techniques numériques de solution du problème de l'écoulement des puissances en régime stationnaire dans des réseaux de quelques centaines de nœuds, malgré les limitations très contraignantes de la mémoire disponible. Le calcul des courants de court-circuit pose des problèmes du même ordre de difficulté.

Le problème du calcul de l'écoulement des puissances dans un réseau électrique à tension alternative, lorsque les injections et les consommations de puissance sont définies, peut s'exprimer comme la solution d'un système d'équations algébriques non linéaire. Les deux idées mises en œuvre pour traiter numériquement ce problème sont d'une part la linéarisation des équations, conduisant à résoudre de manière itérative un système d'équations linéaires et, d'autre part, l'exploitation du fort degré de lacunarité de la matrice des coefficients du système linéaire, illustrée sur la figure 1. Cette dernière propriété a été utilisée et l'est encore actuellement, du moins sur les calculateurs à architecture séquentielle, pour mémoriser et opérer uniquement sur les éléments non nuls, ce qui

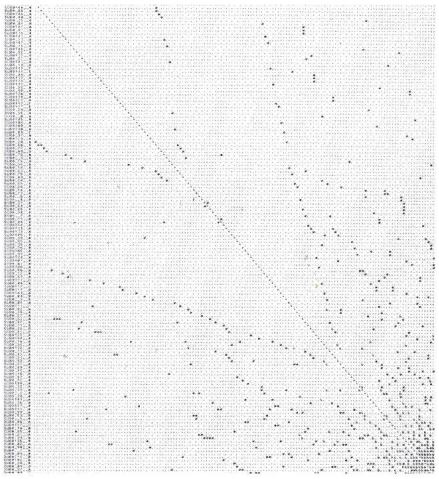


Figure 1 Matrice lacunaire des coefficients du système linéaire d'un réseau électrique

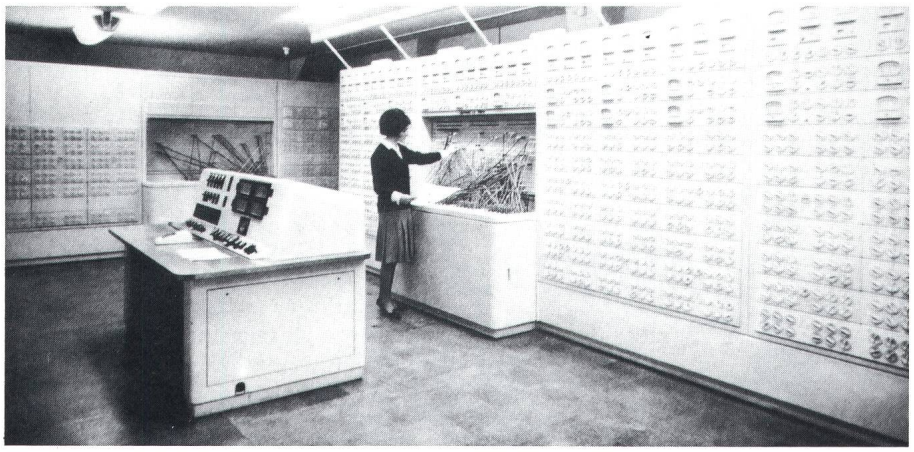


Figure 2 Modèle physique analogique de BBC dans les années 50
(photo BBC)

rend l'effort de calcul proportionnel au nombre de nœuds, au lieu du cube de ce nombre.

En Europe, l'Electricité de France (EdF) a joué un rôle de pionnier dans le développement des méthodes de calcul [3]. Aux USA, la Bonneville Power Administration (BPA) a réalisé un des premiers programmes de calcul industriel [4]. En Suisse, les premiers programmes d'analyse de réseaux électriques par ordinateur ont été, à notre connaissance, développés chez Brown Boveri [5]. Dans les années 50, cette firme utilisait encore largement un modèle physique du réseau (fig. 2) pour évaluer la circulation des puissances et les courants de court-circuit.

Pour l'analyse des phénomènes transitoires dans les réseaux, les méthodes numériques de calcul sur ordinateur permettent également de remplacer des modèles physiques. L'analyse de la stabilité transitoire a été l'un des premiers problèmes dynamiques étudié par des méthodes numériques [6].

Ce qui caractérise en résumé cette première époque de l'analyse des réseaux électriques par ordinateur est le fait qu'un très petit nombre d'entreprises ou d'universités avaient à leur disposition du personnel et le matériel nécessaire pour faire des développements et traiter des problèmes.

2.3 L'accès à distance et les mini-ordinateurs

En même temps que les méthodes de calcul se développent, on voit apparaître dans les années 1970 des moyens de connexion à distance sur des centres de calcul par des terminaux. Les moyens d'aide à la conception des réseaux électriques sont dès lors également à la disposition de bureaux d'études et d'entreprises électriques. Le mode de travail consiste en général à éditer des fichiers séquentiels de données. Des écrans de visualisation alphanumériques, quelquefois graphiques en mode vectoriel sont utilisés pour le dialogue avec l'utilisateur.

Pour l'exploitation des réseaux, on commence à installer des mini-ordinateurs pour l'acquisition des données dans les postes de conduite de réseaux. Des écrans en mode matriciel sont utilisés pour afficher des images préétablies et des valeurs de mesure [7].

A l'EPFL, un groupe est créé au laboratoire du professeur *J.J. Morf* pour développer des outils d'analyse des réseaux électriques. L'intérêt du traitement graphique des résultats est déjà reconnu et exploré [8].

Les techniques éprouvées de solution des grands systèmes linéaires sont appliquées, en coordination avec des méthodes d'intégration numérique, pour traiter les problèmes dynamiques de grands systèmes. En particulier, un travail de doctorat à l'Université de Munich est à l'origine d'un programme de calcul des transitoires électromagnétiques, EMTP [9], utilisé aujourd'hui dans le monde entier.

En général, l'interaction entre les divers programmes n'est pas développée et leur emploi reste bien souvent le domaine de quelques spécialistes dans une entreprise. L'inexistence ou au contraire la trop grande complexité de modes d'emploi y est pour quelque chose. A titre d'exemple, celui d'EMTP compte environ 1000 pages.

Les méthodes d'optimisation sont mises en œuvre pour élargir la portée des analyses d'écoulement des puissances au cas plus réaliste des réseaux avec contraintes sur la capacité des branches, des générateurs et des tensions bornées [10].

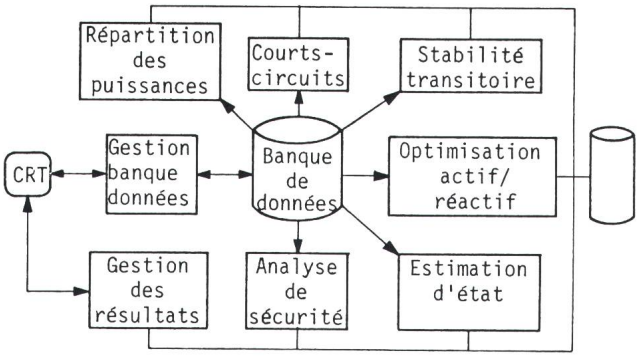
2.4 Les micro-ordinateurs et les bases de données

Dès la fin des années 1970, les super-mini-ordinateurs 32 bits, à mémoire virtuelle, permettent d'élargir considérablement l'emploi de modèles de conception des réseaux dans de petites et moyennes entreprises. La structure des données et l'interaction entre bases de données et programmes reçoit de l'attention [11] et rend le travail de planification plus efficace (fig. 3).

Dans le cadre de l'analyse de sécurité en temps réel, l'optimisation des productions par des méthodes linéaires [12] ou non linéaires prend place dans la recherche de mesures de correction pour remédier à des surcharges.

La recherche de solutions à des surcharges locales de réseaux par le moyen de couplages différents des élé-

Figure 3
Banque de données et logiciel interactif pour l'analyse des réseaux électriques
Implantation sur VAX 11/780 et PDP 11/34



ments fait l'objet de travaux de recherche par différentes méthodes [13; 14]. Par rapport aux techniques d'optimisation portant sur des variables continues, telles que les puissances injectées dans le réseau, la difficulté majeure de la recherche de couplages optimaux réside dans la nature combinatoire du problème.

Les applications en temps réel exigent une mise à jour des données des réseaux voisins, et des concepts pour la construction de modèles équivalents et les échanges de données entre partenaires se développent [15].

Enfin, durant ces dernières années, le rapport entre la puissance de calcul et le prix des ordinateurs personnels met pratiquement à disposition de chaque ingénieur d'une entreprise électrique et d'un bureau d'étude des moyens d'investigation largement suffisants pour traiter les problèmes de réseaux électriques les plus courants.

Les stations de travail graphiques à haute résolution, avec la possibilité de connexion par réseau informatique permettent de réaliser les objectifs de la CAO des réseaux électriques (fig. 4).

3. Conclusion: perspectives d'avenir

Au niveau du matériel, on peut s'attendre à voir se réaliser le concept de tâches distribuées sur des stations reliées par un réseau informatique, avec accès à un processeur vectoriel pour certains travaux.

Au niveau du logiciel, la mise en valeur de résultats par des moyens graphiques offre beaucoup de possibilités encore inexplorées. Le recours aux systèmes experts est envisagé pour aider l'utilisateur de programmes d'analyse de réseaux à interpréter les résultats de ses études [16].

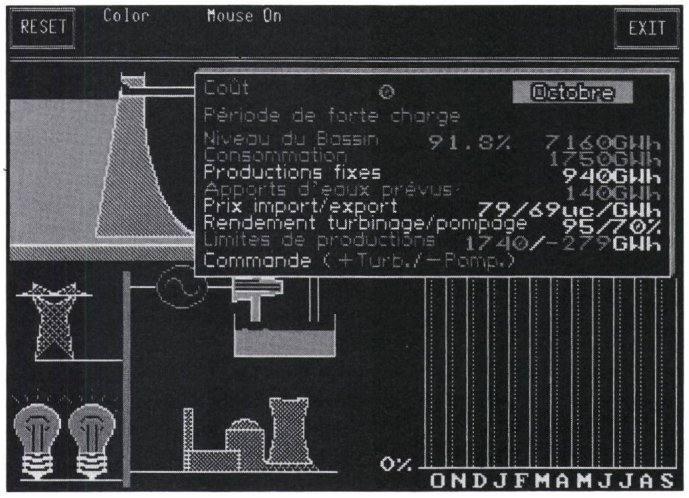


Figure 5
Présentation à l'écran, extraite d'un programme d'enseignement assisté par ordinateur (EAO)

Certains choix dans le processus de conception des réseaux, essentiellement ceux où existe une multiplicité de possibilités, pourront être guidés par les techniques de l'intelligence artificielle. On peut envisager de mettre en œuvre les techniques des systèmes experts pour la conception d'une sous-station [17], mais aussi l'identification de couplages optimaux, l'ajustement des paramètres de systèmes de protection ou la gestion des centrales, pour ne citer que quelques exemples.

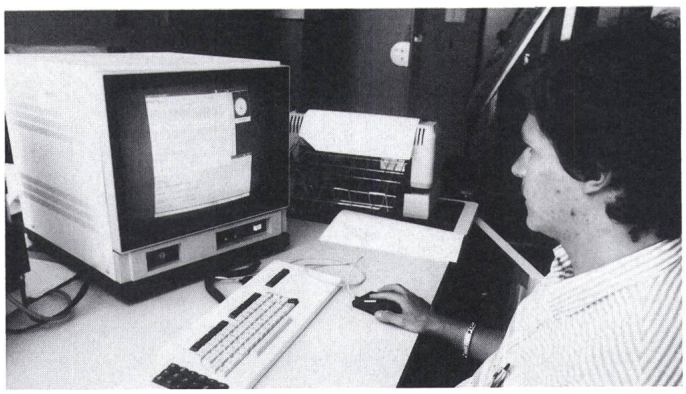


Figure 4
Station graphique de CAO

Bibliographie

[1] Wien automatic system planning package. WASP-III user's manual. Vienna, International Atomic Energy Agency (IAEA), 1980.

[2] *A. Chautems, P.-A. Chamorel* et *A. Germond:* Simulation de l'exploitation annuelle et multiannuelle d'un système de production d'énergie électrique. Bull. ASE/UCS 74(1983)3, p. 103...108.

[3] *J. Carpentier:* Application de la méthode de Newton au calcul des réseaux maillés. Proceedings of the first Power Systems Computation Conference, London 1963.

[4] *W.F. Tinney* and *C.E. Hart:* Power flow solution by Newton's method. IEEE Trans. PAS 86(1967)11, p. 1449...1460.

[5] *W. Frey* et *P. Althammer:* Emploi d'une calculatrice numérique pour l'étude de la stabilité dynamique des machines synchrones. Revue Brown Boveri 48(1961)5/6, p. 356...366.

[6] *H.W. Dommel* and *N. Sato:* Fast transient stability solutions. IEEE Trans. PAS 91(1972)4, p. 1643...1650.

[7] *J.-M. Kälin:* Le nouveau centre d'exploitation et de gestion de la S.A. l'Energie de l'Ouest-Suisse. Bull. ASE 64(1973)20, p. 1277...1285.

[8] *H.B. Püttgen, P. Déruaz* and *G. Berruyer:* A graphical interactive load-flow technique. Proceedings of the IEEE Power Industry Computer Application Conference 1975; p. 105...113.

[9] *H.W. Dommel:* Digital computer solution of electromagnetic transients in single- and multiphase networks. IEEE Trans. PAS 88(1969)4, p. 388...399.

[10] *J. Carpentier:* Optimal power flows. Electrical Power and Energy Systems 1(1979)1, p. 3...15.

[11] *C.A. Rossier* et *A. Germond:* Planification et exploitation des réseaux assistées par ordinateur. Proceedings of the Informatics and Control for Development Conference, Tunis, 1982.

[12] *P. Chamorel:* Optimisation des puissances actives et réactives par la programmation linéaire dans les réseaux électriques à haute tension. Thèse no 496 de l'Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne, 1983.

[13] *H.H. Kronig:* Systematisches Verfahren zur Bestimmung von Schaltmassnahmen im Übertragungsnetz. Dissertation Nr. 7712 der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, 1985.

[14] *C.A. Rossier* and *A. Germond:* Network topology optimization for power system security enhancement. CIGRE-IFAC Symposium, Florence, 1983.

[15] *N.S. Van Nielen:* Rapport sur les échanges de données. Congrès de l'UNIPEDE, Athènes, 1985; rapport no 85 F 40.2.

[16] *J.G.-P. Scott:* A proposed system planning application for expert systems. Contribution of discussion, qroup 38, CIGRE 1986.

[17] *M. Vitins:* A prototype expert system for configuring technical systems. Proceedings of the International Workshop «Knowledge-based Systems in Industry», Baden, Brown Boveri, June 1986.

Les thèmes des conférences de la Journée ETG et les démonstrations

Il est naturel de commencer cette journée par une contribution d'EdF pour se rendre compte des progrès réalisés depuis 25 ans. L'exposé de *M. Back* présente un système complet de gestion des données et de logiciels d'analyse pour la planification des réseaux de transport et de répartition et des ouvrages de production.

L'exposé de *M. Belkhofer* approfondit la planification des réseaux de distribution en présentant des solutions très intéressantes pour la gestion des données.

Les deux exposés suivants mettent en évidence l'utilisation de techniques de simulation en relation avec le temps réel: L'exposé de *M. Virdis* démontre qu'il est possible de réaliser en 1987 une analyse de sécurité avec un système de calcul relativement modeste. Cette présentation est complétée par une démonstration, en liaison directe avec le centre de conduite des EEF.

La présentation de *M. Schaffer* traite le problème de la formation et de l'entraînement du personnel des centres de conduite et de la contribution que l'informatique des années 1980 peut apporter à la solution de ce problème par la simulation.

La présentation de *M. Stalder* met en évidence le gain de temps que peut apporter la CAO pour résoudre le problème de l'ajustement des paramètres des relais de distance. Ce projet a été réalisé sur la base de plusieurs travaux d'étudiants et il est complété par une démonstration.

Enfin, *M. Jaccard* développe une technique contribuant à exploiter de façon optimale la gestion d'un ensemble de réservoirs en temps réel.

La maison *Landis & Gyr*, qui réalise actuellement le système informatique du nouveau centre de conduite des Services Electriques de Lausanne, a présenté une démonstration d'un logiciel de gestion des données d'un réseau de distribution.

Le Laboratoire de réseaux électriques de l'EPFL a organisé une démonstration du programme EMTP ainsi que d'un programme de structure optimale d'un réseau de distribution. Quelques modèles d'enseignement assisté par ordinateur (EAO) ont également été présentés (fig. 5).

Enfin, *M. Rossier*, ingénieur conseil, a présenté un environnement graphique interactif sur ordinateur personnel pour des programmes d'analyse de réseaux électriques.

Planification des réseaux, présentation

L'évolution du secteur informatique a été telle qu'on dispose à l'heure actuelle de moyens de calcul très performants, peu onéreux et de faible encombrement. L'ordinateur personnel donne aux ingénieurs des moyens d'analyse souples et puissants. La décentralisation des moyens informatiques a entraîné une modification des principes de dialogue homme-machine. Les notions de convivialité et d'ergonomie sont à présent des facteurs à prendre en compte lors de la réalisation de logiciels.

Planification des réseaux

Le logiciel de planification des réseaux électriques, présenté par ADSYS lors de la journée CAO à l'EPFL, est un exemple de l'application de nouveaux concepts dans le domaine de l'énergie électrique. ADSYS s'est fixé pour objectif de développer des moyens performants d'analyse et de planification dans le secteur de l'énergie électrique. Ils doivent s'intégrer facilement dans les entreprises et être accessibles à tout employé technique sans formation spécialisée en informatique.

Dans ce but, les outils d'analyse d'ADSYS utilisent une modélisation du réseau en relation directe avec la réalité. L'opérateur manipule des éléments familiers (jeux de barres, disjoncteurs, transformateurs, etc.) et, en retour, les résultats sont affichés sur des images de postes ou de sous-stations (fig. 1). La représentation abstraite d'un réseau électrique utilisée par les logiciels de calcul n'apparaît plus. Le dialogue et l'interprétation des résultats s'effectue par des moyens interactifs graphiques, leur complexité et leur performance est ainsi fonction du système informatique choisi.

La gestion des données s'effectue à l'aide d'un système de base de données relationnelle. Il est dès lors possible d'étendre l'outil de planification à d'autres applications telles que la maintenance (statistiques des défaillances, planification des travaux, etc.) ou l'analyse de problèmes techniques (contraintes mécaniques, thermiques, interférences électromagnétiques, coordination et réglage des protections).

Les outils disponibles actuellement permettent de résoudre les problèmes principaux de planification des réseaux (répartition des puissances, calcul des courants de court-circuit). Les systèmes qui peuvent supporter ces logiciels sont très divers: PC compatibles IBM, stations APOLLO, systèmes VAX. Ces logiciels sont en effet conçus avec un très haut niveau d'indépendance vis-à-vis du matériel. Leur capacité d'extensibilité leur permet d'intégrer sans difficulté de nouvelles applications.

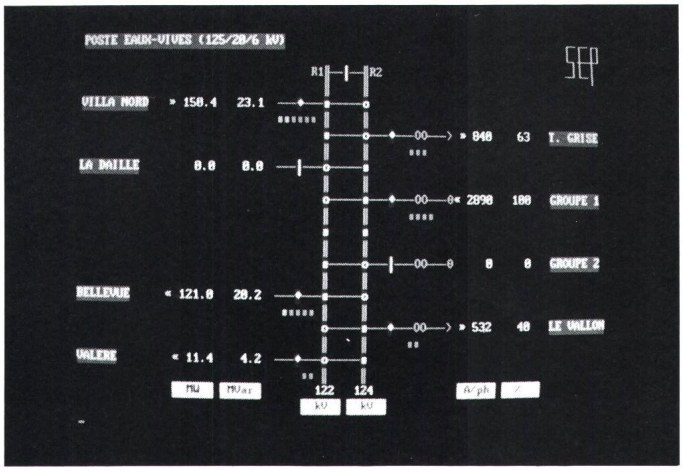


Figure 1
Affichage de résultats
sur PC Olivetti M24

Présentation lors de la Journée d'information ETG (ASE) du 17 mars 1987 «Conception des réseaux d'énergie électrique assistée par ordinateur» à l'EPF Lausanne.

Adresse de l'auteur
Claude A. Rossier, ingénieur-conseil, ADSYS, chemin des Croisettes 8, 1066 Epalinges.