



Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à Haute Tension

112, boulevard Haussmann - 75008 Paris

Session de 1976 - 25 Août - 2 Septembre

34-01



TÉLÉCONDUITE ET AUTOMATISATION DES POSTES AU MOYEN D'ÉQUIPEMENTS INFORMATIQUES STANDARDS

par

P. RIGHEZZA, R. ABELLA, J. MIROUX, M. PAVARD

Electricité de France

(France)

RESUME

Les matériels informatiques standards conviennent parfaitement pour réaliser les fonctions téléconduite et enregistrement d'événements dans un poste électrique. En outre, la puissance de traitement des calculateurs et leur rapidité permettent d'envisager de leur faire assurer d'autres fonctions (automatisme notamment) habituellement confiées à des logiques spécialisées. Il en résulte des économies de périphériques et de fileries, et grâce à l'élimination des spécificités actuelles, une réduction des frais d'étude et une amélioration de la fiabilité de l'exécution des fonctions.

Cette communication expose les conclusions essentielles des expériences menées par EDF en ce domaine, qui ont montré la faisabilité technique et l'intérêt économique de telles solutions. Elle présente les principes de conception et de mise en œuvre d'un ordinateur de poste dans une perspective de recherche d'un niveau de sécurité élevé et d'une bonne évolutivité. Enfin, les principes de deux méthodes de conception et de mise en œuvre d'automatisme sont développés sommairement. Il s'agit de la méthode des réseaux de PETRI et de la méthode des tables de décision permettant d'introduire de façon simple les fonctions d'automatismes séquentiels dans les calculateurs.

Automatisme, Enregistrement, Evénements, Poste, Téléconduite, Utilisation calculateurs.

RAPPORT

1. INTRODUCTION

L'étude systématique de tous les problèmes posés par l'emploi judicieux de calculateurs assurant les fonctions de téléconduite, d'enregistrement d'état et d'automatisme, a été menée par la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, à partir de 1971, dans le cadre d'une politique générale définie dans le rapport 32-14 "Développement de la conduite automatique du réseau de transport EDF" [1], présenté à la CIGRE en 1974.

Cette étude s'est concrétisée, en 1973, par l'installation expérimentale de calculateurs dans deux postes de la région parisienne, le poste THT de Mézerolles et le poste HT/MT d'Itteville. Simultanément, ont été poursuivies des études à caractère plus prospectif sur la détection des défauts (fonction protection) et leur enregistrement (fonction oscillographe).



Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à Haute Tension

112, boulevard Haussmann — 75008 Paris

Session de 1976 — 25 Août - 2 Septembre

34-01



TÉLÉCONDUITE ET AUTOMATISATION DES POSTES AU MOYEN D'ÉQUIPEMENTS INFORMATIQUES STANDARDS

par

P. RIGHEZZA, R. ABELLA, J. MIROUX, M. PAVARD

Electricité de France

(France)

RESUME

Les matériels informatiques standards conviennent parfaitement pour réaliser les fonctions téléconduite et enregistrement d'événements dans un poste électrique. En outre, la puissance de traitement des calculateurs et leur rapidité permettent d'envisager de leur faire assurer d'autres fonctions (automatisme notamment) habituellement confiées à des logiques spécialisées. Il en résulte des économies de périphériques et de fileries, et grâce à l'élimination des spécificités actuelles, une réduction des frais d'étude et une amélioration de la fiabilité de l'exécution des fonctions.

Cette communication expose les conclusions essentielles des expériences menées par EDF en ce domaine, qui ont montré la faisabilité technique et l'intérêt économique de telles solutions. Elle présente les principes de conception et de mise en œuvre d'un ordinateur de poste dans une perspective de recherche d'un niveau de sécurité élevé et d'une bonne évolutivité. Enfin, les principes de deux méthodes de conception et de mise en œuvre d'automatisme sont développés sommairement. Il s'agit de la méthode des réseaux de PETRI et de la méthode des tables de décision permettant d'introduire de façon simple les fonctions d'automatismes séquentiels dans les calculateurs.

Automatisme, Enregistrement, Evénements, Poste, Téléconduite, Utilisation calculateurs.

RAPPORT

1. INTRODUCTION

L'étude systématique de tous les problèmes posés par l'emploi judicieux de calculateurs assurant les fonctions de téléconduite, d'enregistrement d'état et d'automatisme, a été menée par la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, à partir de 1971, dans le cadre d'une politique générale définie dans le rapport 32-14 "Développement de la conduite automatique du réseau de transport EDF" [1], présenté à la CIGRE en 1974.

Cette étude s'est concrétisée, en 1973, par l'installation expérimentale de calculateurs dans deux postes de la région parisienne, le poste THT de Mézerolles et le poste HT/MT d'Itteville. Simultanément, ont été poursuivies des études à caractère plus prospectif sur la détection des défauts (fonction protection) et leur enregistrement (fonction oscilloperturbographe).

Ces expériences, aujourd'hui terminées, après respectivement un an et deux ans d'exploitation, ont été entreprises pour s'assurer que les avantages escomptés de l'utilisation d'un ordinateur dans un poste ne seraient pas limités par les précautions à observer en cours d'installation pour obtenir un fonctionnement sûr des équipements.

En parallèle, la mise en place de matériels construits autour de calculateurs permettait de former des équipes compétentes, aptes à établir des spécifications cohérentes et complètes des équipements et capables d'assurer leur contrôle à la livraison.

Les fonctions que peut remplir un ordinateur de poste sont celles :

- de téléconduite du poste
- d'enregistrement chronologique des événements
- d'automatismes séquentiels.

Les deux premiers types de fonction sont en fait de nature très voisine. Les fonctions d'automatisme posent des problèmes d'exploitation assez différents, mais les techniques de mise en œuvre sur ordinateur restent semblables.

Le temps de calcul qui reste disponible sur les équipements, après exécution des fonctions de téléconduite et de consignation d'état permet éventuellement de valoriser l'investissement initial par l'intégration d'automatismes centralisés. Les automates programmés réalisés autour de mini ou micro ordinateurs vont donc sans doute très rapidement concurrencer certains de leurs homologues électro-mécaniques ou électroniques, ceci du simple fait de leur faible coût, de leur fiabilité et de leur souplesse d'emploi.

De nouvelles méthodes de spécification et d'intégration des automates sont, en pratique, nécessaires. Parmi celles-ci nous avons retenu et mis en œuvre la méthode des réseaux de PETRI et celle des tables de décisions.

Après un bref rappel sur les expériences menées, nous examinerons successivement les résultats d'exploitation obtenus, les architectures et les règles de mise en œuvre du matériel et des logiciels associés. Un chapitre particulier sera consacré aux méthodes de représentation et d'exécution d'un automate en ordinateur, compte tenu des progrès observés sur les méthodes théoriques d'analyse des automatismes séquentiels.

2. PRESENTATION DES EXPERIENCES – RESULTATS D'EXPLOITATION

2.1. Présentation sommaire des expériences – Les domaines plus particulièrement explorés par les expériences de Mézerolles et d'Itteville sont complémentaires.

Le problème principal dans le poste de Transport de Mézerolles était le grand nombre d'états à surveiller (1 500) et l'importance des avalanches d'événements en cas d'incidents (150 à 200 signalisations en quelques secondes). Le schéma d'ensemble adopté est représenté en figure 1. Le ordinateur du poste est équipé d'un multiplexeur matriciel pour l'acquisition cyclique des états tout-ou-rien, et de sorties de commandes unitaires ou simultanées. Il dialogue avec le ordinateur du poste de conduite par l'intermédiaire d'une liaison téléphonique exploitée à 200 bits/seconde. A noter que l'heure du poste est fixée par une horloge quartz, elle-même régulièrement remise à l'heure à partir du poste de conduite en tenant compte des temps de transmission mesurés automatiquement à chaque changement de voie de transmission.

L'expérience dans le poste de distribution d'Itteville (voir fig. 2) portait sur un poste plus réduit. On a pu en profiter pour examiner l'exécution de fonctions de téléconduite un peu plus élaborées (transmission au poste de conduite de courbes de charge, par exemple, ou tenue à jour en permanence au poste-chef d'un schéma figuratif du poste sur écran). On y a également procédé à des expériences d'implantation d'automatismes et de protection.

2.2. Conditions d'installation -- Aucune précaution particulière en dehors des règles habituelles d'installation des matériels électroniques dans un environnement perturbé n'a été prise lors de la mise en service des matériels.

Le découplage entre les équipements informatiques et la filerie du poste était assuré par des interfaces à relais isolés à 500V. Le découplage en mode commun des mesures est assuré par des transformateurs, les surtensions étant éliminées par un filtre et éventuellement des diodes zener.

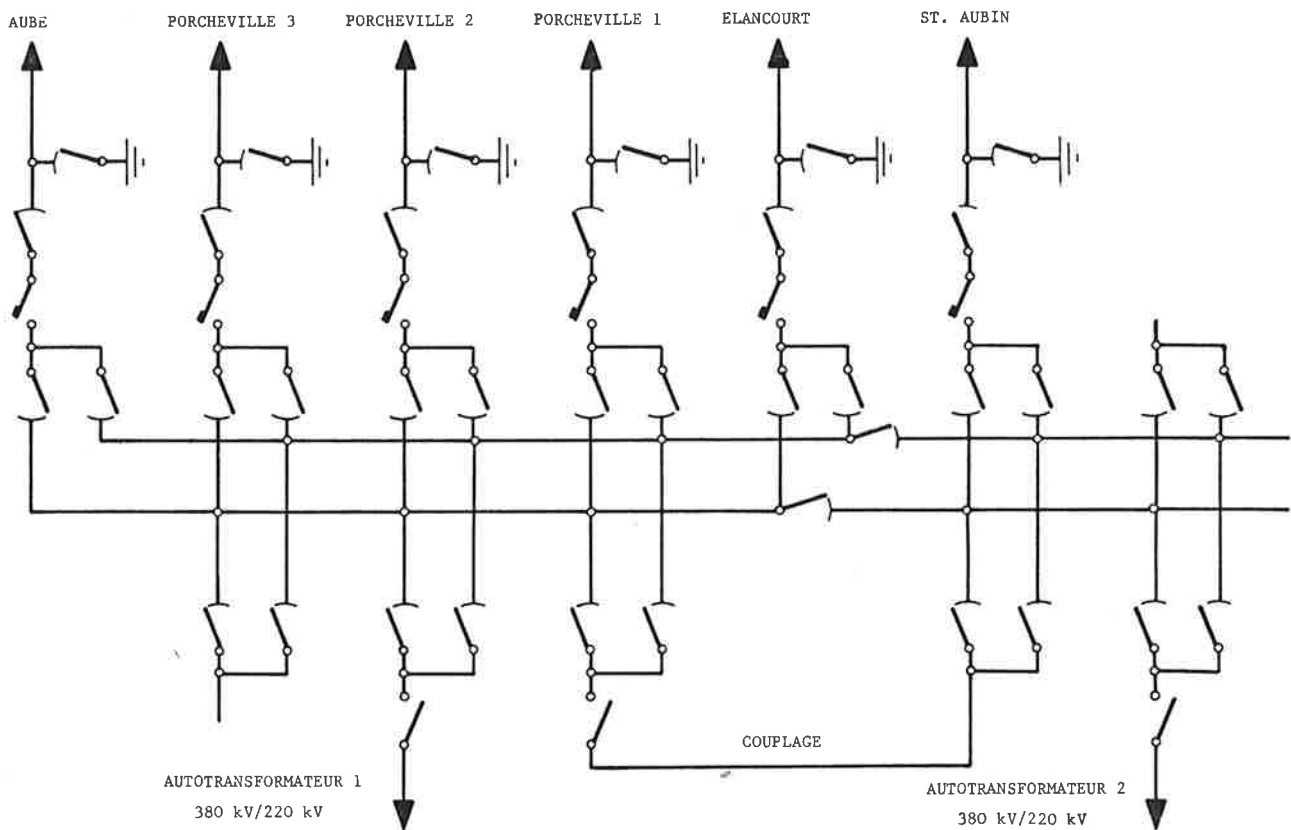


Figure 1a - Schéma unifilaire de la partie 200 kV du poste THT/HT de Mézerolles.

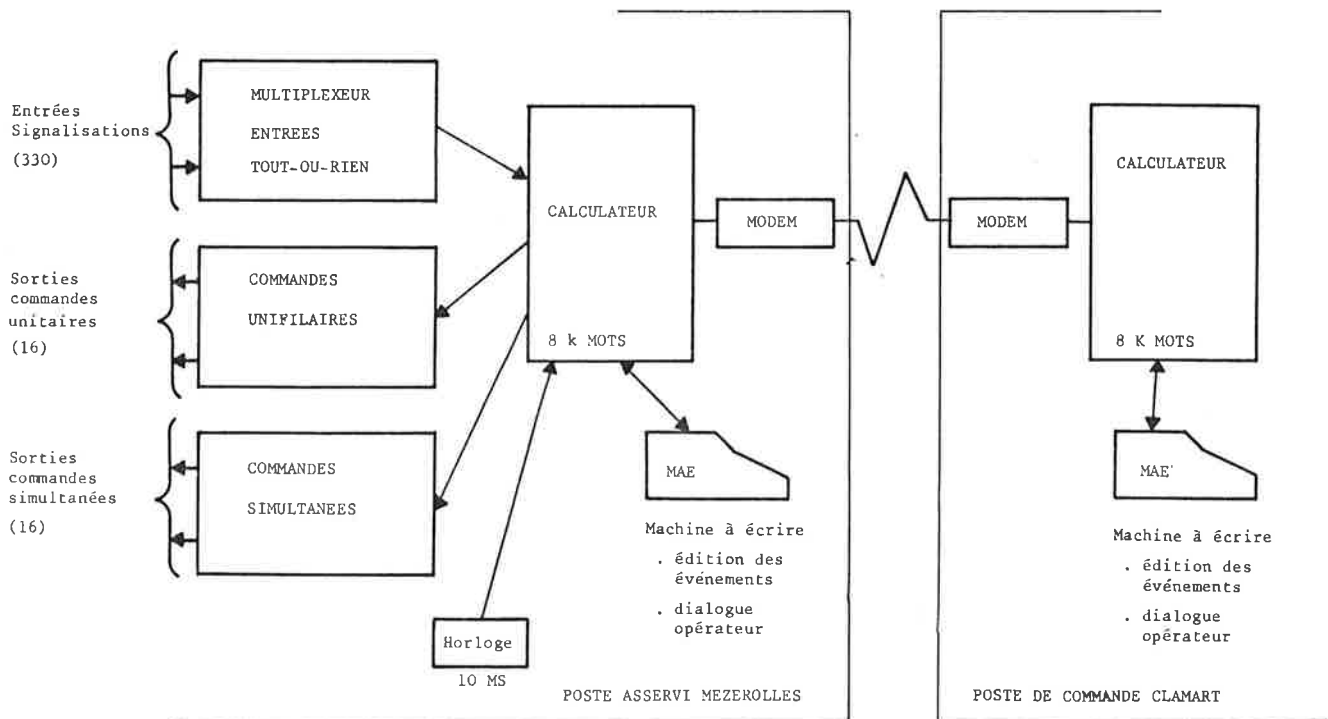


Figure 1b - Architecture du matériel installé à Clamart et à Mézerolles pendant l'expérience.

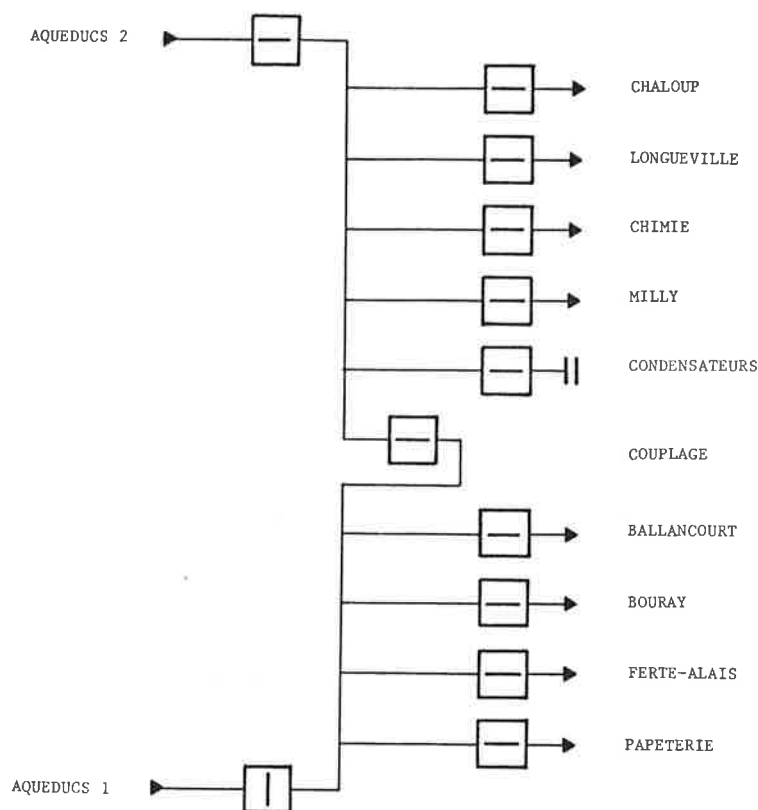


Figure 2a - Schéma unifilaire du poste d'Itteville.

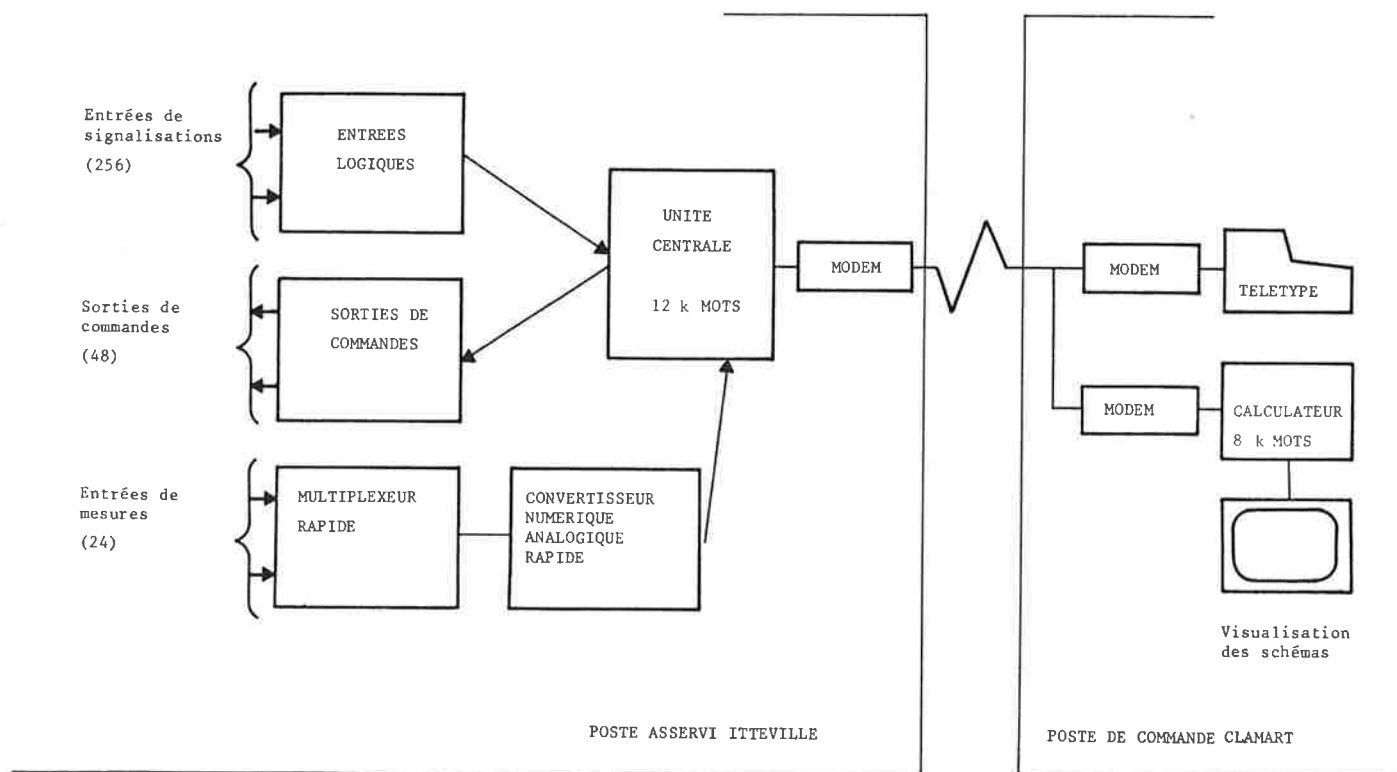


Figure 2b - Architecture des matériels installés à Itteville et Clamart.

Le câblage en étoile des masses électriques et mécaniques permet d'obtenir une équipotentialité convenable des différentes parties de l'équipement dans le spectre des fréquences perturbatrices (50 Hz à 10 MHz). Le point commun de masse est réuni à la terre du poste. La qualité de cette dernière doit être telle que des tensions supérieures aux tensions d'isolement n'apparaissent pas sur les interfaces de l'équipement. On a pu observer que l'application d'ondes de tension à front raide entre la masse de l'équipement et la terre du poste est sans effet sur le fonctionnement du matériel.

2.3. Résultats d'exploitation — Sur les deux équipements on a noté 4 pannes du matériel, soit un temps moyen entre pannes (MTBF) correspondant à 6 000 heures. Ces pannes sont survenues dans des périodes où aucune manœuvre n'était effectuée dans le poste et où aucun incident n'a été noté. On peut donc en déduire qu'il n'existait pas de corrélation entre les pannes de calculateur et des perturbations dans le poste. Par ailleurs, ce taux de panne est du même ordre que celui observé dans un fonctionnement des mêmes matériels en laboratoire.

Pendant toute la durée des expériences, nous n'avons noté aucune susceptibilité particulière aux parasites. Notons que cette immunité vis-à-vis des agressions externes a aussi été constatée lors du foudroiement d'un poste et lors d'essais de court-circuit à la terre d'une ligne à 225 kV au voisinage de l'autre poste.

3. ARCHITECTURES DU MATERIEL ET DU LOGICIEL DE L'EQUIPEMENT DU POSTE

3.1. Généralités sur l'architecture de l'équipement du poste asservi — La définition de la nature et de l'architecture de l'équipement du poste asservi résulte de l'analyse de quatre critères à priori contradictoires :

- Le coût
- L'évolutivité
- La sûreté de fonctionnement
- La maintenabilité

La recherche du coût minimal incite à l'emploi de matériels informatiques standards. Le rôle des coupleurs est alors limité à l'adaptation physique et logique des échanges d'informations numériques et logiques, sans traitement spécifique.

L'évolutivité, tant qualitative que fonctionnelle, implique une conception modulaire et hiérarchisée des matériels et du logiciel.

La sûreté de fonctionnement nécessite de décentraliser certains autocontrôles au niveau des coupleurs. Ces autocontrôles sont susceptibles de compliquer et de particulariser les interfaces. Ils peuvent dégrader la fiabilité et le coût.

La simplification des interfaces et la conception modulaire des matériels et du logiciel contribuent à la maintenabilité de l'équipement.

En définitive il apparaît que l'adéquation de l'équipement repose sur :

- La structure et le rôle mutuel des interfaces et de l'unité centrale
- L'architecture du logiciel.

Ces points sont développés dans les paragraphes suivants.

3.2. Charge du calculateur — La scrutation cyclique des entrées est la seule solution compatible avec l'acquisition simultanée d'un grand nombre de changements d'état.

La charge moyenne de l'unité centrale résulte alors de la scrutation permanente des entrées tout-ou-rien.

La charge de pointe résulte de la prise en compte, avec respect de la chronologie 10 ms, des avalanches de changements d'états.

Les mesures effectuées sur les calculateurs en exploitation ont montré que dans le cas où le périphérique est réduit au rôle d'adaptateur de formats (détection des changements d'états et filtrage des rebondissements effectués par le logiciel) la charge moyenne du calculateur pour scruter 100 mots de 16 bits (soit

1 600 états maximum) toutes les 10 ms ne dépasse pas 40 pour cent (temps moyen d'instruction 4 μ s). On peut mémoriser dans le temps de cycle restant 35 mots dans lesquels au moins un changement d'état aura été noté.

De telles performances, perfectibles avec des calculateurs récents, montrent que la plupart des postes peuvent être équipés d'un périphérique d'acquisition réduit au rôle de multiplexeur d'entrée.

Une augmentation de la capacité d'acquisition des états tout-ou-rien peut être obtenue sur un matériel donné en utilisant l'accès canal ou l'accès direct mémoire. L'augmentation de la vitesse de calcul, la possibilité de mixer dans une même machine des mémoires plus ou moins rapides, permettent de penser qu'il ne sera pas nécessaire de recourir à des artifices sur les périphériques d'acquisition pour augmenter encore la capacité de scrutation et d'acquisition d'états tout-ou-rien.

Notons que les capacités résiduelles de traitement permettent d'envisager l'intégration de fonctions nouvelles. Ceci est particulièrement vrai dans le cas des postes de taille moyenne (250 signalisations) dans lesquels on peut accroître la charge moyenne (~ 15 pour cent) en intégrant des protections numériques. Des études effectuées dans le cadre de l'expérience d'Itteville dans le cas simple des protections des réseaux de Distribution ont démontré la faisabilité de cette intégration, qui repose essentiellement sur la mise au point d'algorithmes adaptés. De même, il est apparu que certaines architectures du logiciel, sur lesquelles nous aurons l'occasion de revenir, permettaient une intégration aisée des automatismes, ceci sans affecter notablement la charge de pointe de l'unité centrale.

3.3. Structure des interfaces — La charge du calculateur n'est donc pas un obstacle à la simplification des périphériques au rôle d'adaptateurs. De ce fait le matériel spécifique aux applications envisagées dans le poste pourra être réduit à une fonction de découplage, sous réserve qu'une telle disposition ne remette pas en cause la sécurité de fonctions. On aboutit ainsi à l'architecture représentée figure 3.

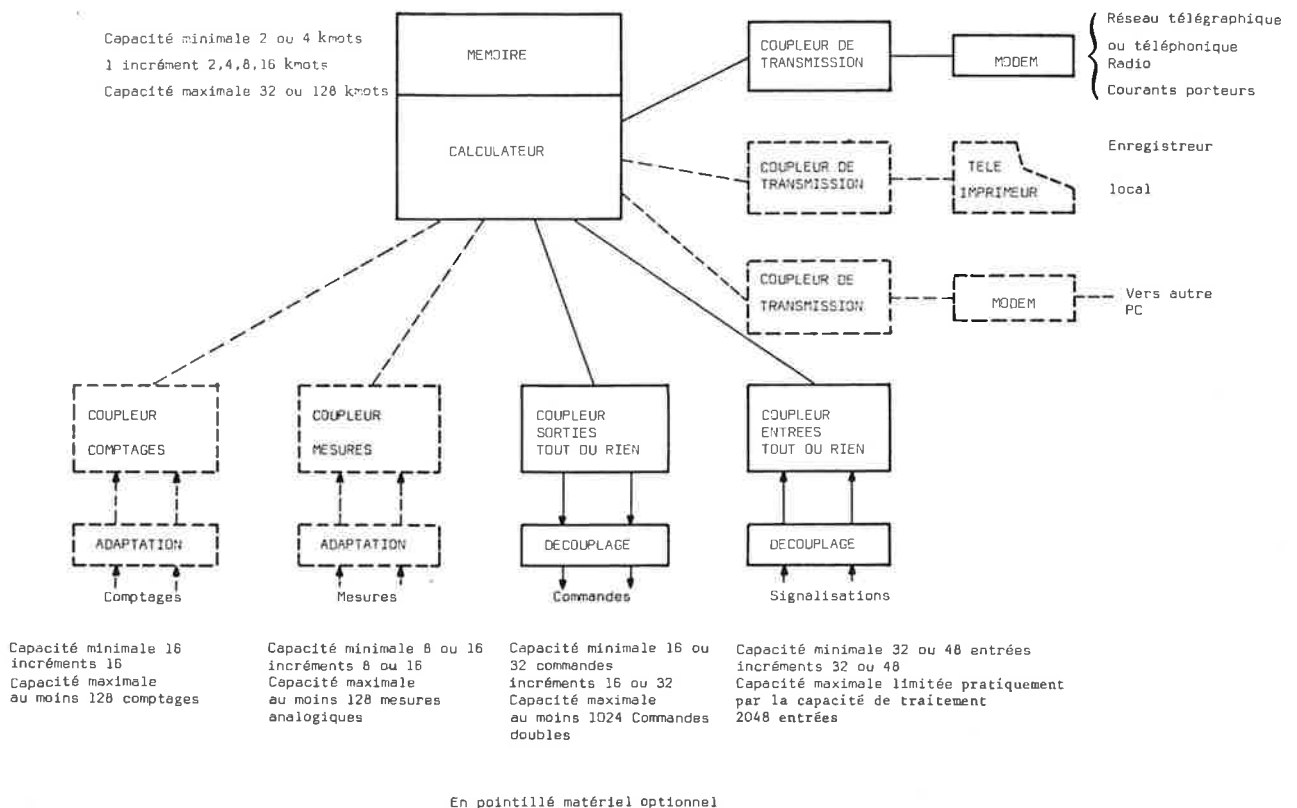


Figure 3 — Architecture générale du matériel de poste.

Notons cependant que dans l'éventualité d'une intégration ultérieure des automatismes, il a été nécessaire de réaliser des coupleurs permettant d'émettre des commandes simultanées ou très rapprochées destinées à des organes différents, et ceci avec un haut degré de sécurité. Actuellement de tels coupleurs ne peuvent être considérés comme étant des produits standards.

3.4. Architecture du logiciel

3.4.1. **Architecture générale du logiciel** – L'organisation générale du logiciel doit respecter un certain nombre de règles ayant principalement pour objet :

- de s'affranchir, autant que faire se peut, des particularités du calculateur et de ses périphériques,
- de faciliter toute évolution ultérieure (intégration d'un périphérique ou d'une fonction nouvelle, modifications de paramètres),
- de dépersonnaliser le logiciel,
- de préserver l'indépendance des fonctions élémentaires,
- de faciliter la maintenance.

L'organisation la plus souple consiste à distinguer quatre niveaux de logiciels (fig. 4) :

– Le logiciel niveau 1 : c'est le superviseur. Il joue un rôle d'organisateur et distribue les tâches en tenant compte des priorités, du temps, du contexte. Il résout tous les conflits liés à l'utilisation des périphériques, à la synchronisation des tâches, à la gestion des événements. C'est un programme dont la mise au point est assez délicate mais qui simplifie considérablement la programmation du logiciel lié à l'application et qui garantit une excellente évolutivité potentielle.

– Le logiciel niveau 2 : ce sont les drivers (ou utilitaires). Ces drivers sont des programmes spécialisés dans la gestion des périphériques. Ces drivers sont sous contrôle du moniteur. Ils assurent la transparence du logiciel d'application vis-à-vis des entrées-sorties.

Les logiciels de niveau 1 et 2 sont susceptibles d'être fournis par les constructeurs de calculateurs alors que les logiciels de niveau 3 et 4, dont nous allons maintenant parler, sont spécifiques de notre application. Ils traduisent en effet les spécifications du cahier des charges dans un langage directement interprétable par le calculateur.

– Le logiciel de niveau 3 : c'est le logiciel d'application. Il doit être décomposé en modules qui communiquent et sont placés sous contrôle du logiciel de niveau 1.

Le logiciel de niveau 3 est paramétrable via le logiciel de niveau 4.

– Le logiciel de niveau 4 : c'est le logiciel de configuration. Il permet de modifier les paramètres utilisés par les programmes de niveau 3 (description des télésignalisations, des télésures, de la configuration des matériels, des calibres...). La modification de ces données doit pouvoir être effectuée par un personnel non spécialisé. En fait ce sont ces programmes qui confèrent à la solution informatique une bonne partie de sa souplesse, et c'est la qualité de ce logiciel qui détermine pour l'exploitant l'attrait de la solution informatique.

Faute d'une telle organisation, le logiciel sera inévitablement rigide et supportera mal toute modification aussi légère soit-elle. Notons que les modifications des programmes ou des données effectuées directement sur le calculateur en fonctionnement industriel sont dangereuses si elles sont faites sans précautions. Actuellement l'analyse et la programmation des sécurités à envisager dans différents cas de fonctionnement sont lourdes et complexes. Aussi l'utilisation d'un configurateur performant s'exécutant en autonome nous paraît bien préférable.

Il faut pour être complet citer les logiciels de "niveau 0", c'est-à-dire les logiciels de base fournis par les constructeurs de calculateurs. Il est en effet important de disposer d'un matériel muni d'un logiciel de base étoffé facilitant la programmation. En général, un tel logiciel n'est disponible que chez les constructeurs de mini calculateurs capables d'en amortir le coût sur une grande série.

3.4.2. **Organisation des transferts et des traitements de données** – La seule difficulté dans l'organisation générale des traitements réside dans la nécessité de désynchroniser les différentes phases d'un travail de façon à ne pénaliser ni les programmes cycliques chargés de l'acquisition des informations chronologiques ni les temps de réponse des automates qui leur sont associés.

Une organisation possible des programmes de traitement est représentée en figure 5. Tous les événements notés en entrée (changements d'état des signalisations, apparitions d'alarmes...) sont inscrits dans une file d'attente au moment de leur apparition. Cette phase doit être aussi courte que possible en exécution. Sa durée conditionne en effet le nombre d'événements qui pourront être pris en compte dans l'intervalle de temps définissant la chronologie. Les événements sont ensuite traités par le module de programme correspondant à leur nature. Cette procédure peut être facilement modifiée pour accélérer l'exécution de certains automates très prioritaires.



Figure 4 - Organisation générale du logiciel - Hiérarchisation des traitements.

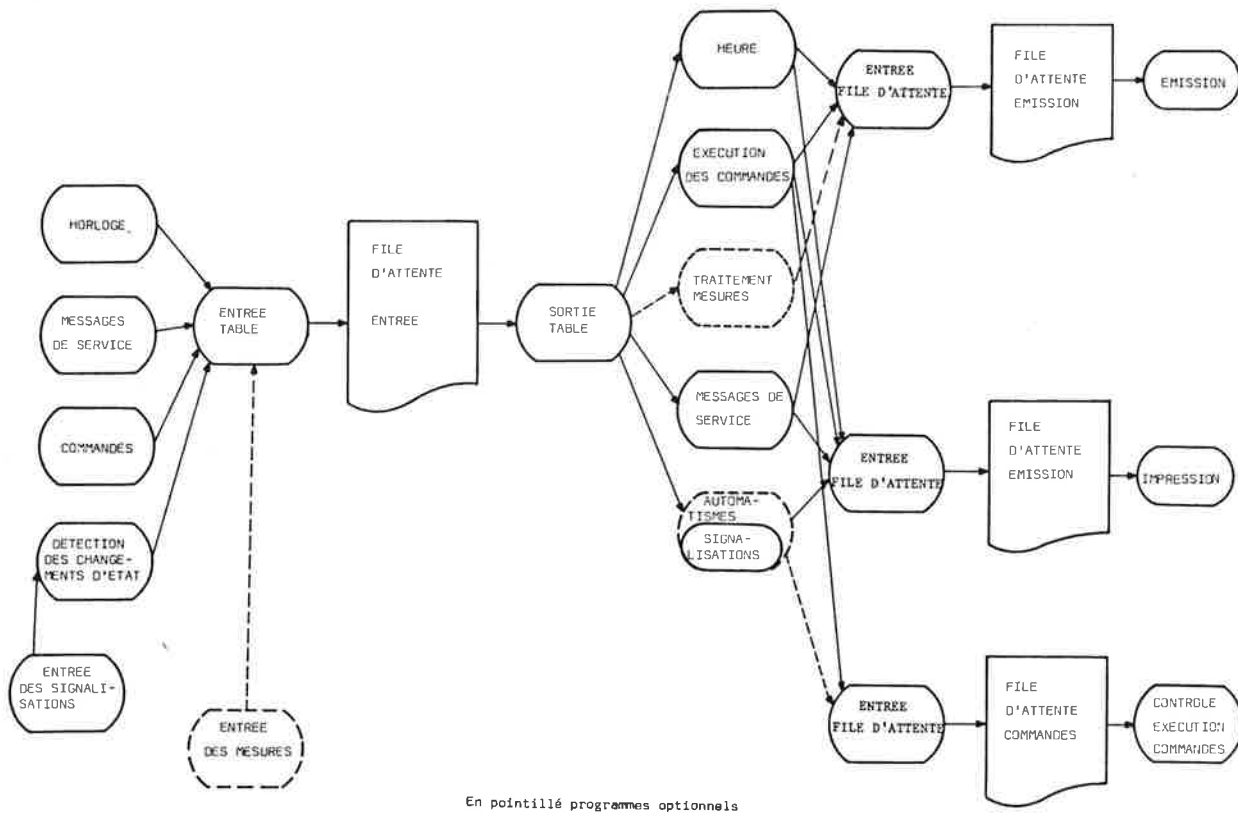


Figure 5 - Architecture du logiciel -- Organisation des traitements.

4. SURETE DE FONCTIONNEMENT DES EQUIPEMENTS DE POSTE

Nous n'aborderons pas dans ce chapitre les questions de continuité de service mais seulement les problèmes relatifs aux effets possibles des pannes fugitives ou définitives d'un sous-ensemble de l'équipement sur la réalisation des différentes fonctions demandées. Cette analyse implique deux phases d'étude. Lors de la conception du matériel et du logiciel il convient d'étudier les effets des pannes possibles des différents sous-ensembles, ainsi que les moyens d'éviter leur propagation. En deuxième lieu il faut vérifier, lors de la réception de l'équipement, qu'il remplit bien les fonctions spécifiées dans des conditions variées de fonctionnement et d'environnement.

Une analyse globale du fonctionnement du système séquentiel complexe qu'est le calculateur doté d'un logiciel d'application est actuellement impossible.

La solution adoptée a consisté à découper l'équipement en sous-ensembles séparés par des interfaces. L'analyse de sûreté consiste alors à étudier les conséquences sur le fonctionnement du logiciel et du matériel d'une panne simple dont les effets sont observés sur une interface. Cette étude conduit à mettre en évidence les chemins de propagation des informations à travers le système. On peut en déduire les moyens à mettre en œuvre pour détecter ces pannes et en éviter les conséquences dangereuses.

4.1. Conclusions essentielles de l'analyse de sûreté

Sécurités internes de l'unité centrale et de la mémoire - Il est indispensable que le système comporte des sécurités permettant la détection des défauts. Celles-ci peuvent être intégrées dans le calculateur (sécurités hardware) ou résulter d'artifices de programmation.

Les calculateurs munis de leurs sécurités internes ont l'avantage d'interrompre le déroulement du programme d'application dès la détection du défaut, ce qui en facilite la localisation et permet de sauvegarder l'intégrité du programme.

Lorsque ces dispositifs n'existent pas, un défaut interne se traduit en général par l'altération de tout ou partie du programme, jusqu'à ce que son fonctionnement aberrant soit détecté au moyen de pièges mis en place dans le logiciel. Il est alors très difficile de déterminer s'il s'agit d'un défaut fugitif du calculateur ou d'un défaut de programmation, et la politique à adopter lors de la détection du défaut dépend de la nature des fonctions assurées par le calculateur.

Sûreté de fonctionnement des périphériques – Les dispositifs d'autocontrôle des périphériques sont en général très coûteux. Il est plus judicieux de détecter les pannes de ces périphériques en organisant un dialogue avec le calculateur et des "configurations de contrôle" sur ces périphériques.

Par exemple, la plupart des pannes du multiplexeur d'entrées tout-ou-rien peuvent être détectées en prévoyant des mots dont les états connus seront lus périodiquement par le calculateur. La lecture de ces mots permet de vérifier les lignes d'entrées jusqu'à l'accumulateur du calculateur.

Le cas des périphériques de sortie de commandes est particulier. La gravité que peut revêtir une fausse commande nous a conduits à spécifier des sécurités propres à ces périphériques : exécution de la commande en deux phases indépendantes, contrôles de bonne exécution de chaque phase, sécurités intégrées aux périphériques permettant une coupure rapide des tensions d'alimentation. De plus des dispositifs doivent éviter l'émission de commandes intempestives lors du démarrage du calculateur ou en cas de coupure de tension, c'est-à-dire lorsque les bits d'entrée/sortie sont positionnés aléatoirement. L'absence de précautions dans de telles circonstances peut en effet entraîner l'ouverture intempestive de tout ou partie des disjoncteurs du poste.

Contrôle des échanges entre calculateur et périphériques – L'identification du périphérique par une adresse, dans tous les dialogues périphériques-calculateur, élimine les problèmes dus aux pannes sur la liaison omnibus qui peuvent entraîner des doubles réponses ou des réponses erronées.

L'exécution des fonctions de commande en plusieurs étapes avec des contrôles exécutés par le logiciel à la fin de chacune permet d'obtenir le niveau de sécurité souhaité.

En fait, ce dialogue réalise une boucle de contrôle entre la sortie des commandes et la réaction du périphérique. La réaction normale étant connue, un tel contrôle vérifie non seulement le périphérique, mais aussi les lignes d'entrée et de sortie ainsi que le fonctionnement du programme.

Autocontrôle du logiciel d'application – Les précautions prises dans le logiciel seraient inutiles si l'on était certain que toutes les séquences possibles du programme ont bien été vérifiées à l'origine et que le programme ne sera pas modifié à la suite de défauts ou de manipulations volontaires.

Comme tel n'est pas le cas, il nous est apparu impératif d'inclure des protections qui permettront d'arrêter le déroulement des instructions en cas d'anomalie. Cet arrêt survenant avant une altération grave du contenu des mémoires permettra de reconstituer l'historique du défaut et d'en reconnaître l'origine pour y remédier. La duplication de certaines informations sous forme directe et complémentaire, la vérification de la vraisemblance des informations à l'entrée d'une tâche et de leur appartenance à un domaine de validité, sont des précautions minimales. Il faut également s'assurer que des lancements intempestifs de tâches qui peuvent survenir dans certains superviseurs en présence de pannes du logiciel ne peuvent avoir à l'extérieur aucune conséquence.

Enfin des contrôles d'exécution dans des temps prédéterminés (chien de garde) permettent d'éliminer le périphérique ou la tâche qui ne pourraient exécuter leurs fonctions dans des délais déterminés.

4.2. Réception des équipements – Avant d'aborder le problème de la réception des équipements il est indispensable d'évoquer la nécessité d'un suivi très strict de l'analyse lorsque celle-ci n'est pas effectuée par le spécificateur.

En effet, l'évolutivité et la commodité d'emploi d'une solution informatique ne doivent pas être considérées comme acquises à priori. Elles résultent en fait de la mise en œuvre préalable d'un ensemble de mesures conservatoires, portant sur l'architecture du logiciel, telles que celles énumérées dans ce rapport. L'existence et l'adéquation de ces mesures doivent être vérifiées bien avant les essais de réception. Il s'agit là d'un travail d'expertise dont la pratique nous a montré qu'il doit intervenir dès l'analyse faite par le constructeur, et avant tout travail de programmation.

Dans le même ordre d'idée, il faut souligner que l'emploi d'un moniteur multitâches impose des structures de dialogue très strictes entre les programmes. Celles-ci permettent de limiter les effets toujours désastreux des "astuces" de programmation qui constituent une tentation permanente pour les programmeurs. Le moniteur multitâches contribue donc à la sûreté de fonctionnement.

La réception proprement dite des matériels relève de l'application des conditions d'essais établies pour cette classe de matériel. Ces conditions d'essais sont encore mal définies ; toutefois notre expérience nous a enseigné que des essais sévères ne compromettent pas le bon fonctionnement ultérieur des équipements. En outre, ils révèlent parfois certaines pannes "vicieuses" inhérentes à la conception des matériels. Citons à titre d'exemple les essais en température que nous effectuons entre 0°C et 45°C et qui sont toujours riches d'enseignement.

La réception fonctionnelle est délicate dans le cas où le logiciel n'a pas été réalisé par l'exploitant. La seule solution semble être actuellement de tester l'équipement à l'aide d'un simulateur permettant de recréer les conditions de fonctionnement que pourra rencontrer l'équipement en exploitation. Une mise à l'épreuve de longue durée à l'aide de séquences d'événements variés doit permettre de déceler un grand nombre des erreurs qui pourraient subsister dans le logiciel.

5. LIAISON AU POSTE DE CONDUITE

5.1. Caractéristiques générales de la liaison — Dans les conditions d'exploitation actuelles des matériels de téléconduite en France, il est souhaitable de limiter la vitesse de transmission à 200 bits par seconde. On peut ainsi sur une voie téléphonique transmettre simultanément les données numériques et la phonie. Une liaison de téléconduite doit donc présenter les caractéristiques suivantes :

— Les messages à transmettre sont courts (100 à 300 bits au maximum) et le temps de réponse souhaité est limité à quelques dixièmes de seconde. Il faut donc que les procédures de transmission aient un rendement élevé.

— La transmission véhicule des informations importantes pour la sécurité du réseau (signalisations, commandes). La sécurité de transmission doit permettre une protection efficace contre les déformations ou les pertes de message.

— Les messages ne comportent en général que des informations codées. La transmission s'effectue en mode transparent.

Une analyse des moyens mis en œuvre permet de décomposer ceux-ci en plusieurs niveaux. On peut distinguer le support physique et la structure du réseau de transmission (ligne 2 fils ou 4 fils, doublée ou non, point à point ou multipoint . . .), le mode de transmission regroupant les mécanismes de synchronisation bit et caractère (modem, coupleur) et le logiciel.

Dans le domaine du matériel une standardisation de fait s'est imposée entre les différents constructeurs. Les interfaces entre ligne et modem, modem et coupleur sont conformes aux avis V 24 du CCITT et EIA RS 232. Les coupleurs permettent le transfert de caractères dont la longueur est comprise entre 5 et 9 bits, l'octet étant plus utilisé puisqu'il est déjà manipulé dans les mémoires des calculateurs.

On peut distinguer dans le logiciel de transmission trois couches de programmes :

— Le driver est spécifique du coupleur de transmission. Il est chargé d'émettre et de recevoir des blocs et de détecter les erreurs de transmission.

— La procédure gère les échanges en respectant les règles imposées pour le dialogue entre les deux extrémités. La procédure est indépendante des questions de support et de mode de transmission. Par exemple une même procédure peut être utilisée pour des transmissions asynchrones ou synchrones.

— Le protocole est l'interface entre l'utilisateur et la procédure.

C'est cette architecture qui a été retenue dans les expériences d'Itteville et Mézerolles, qui ont permis l'étude et la mise en œuvre de deux logiciels de télétransmission. Le premier était orienté vers l'étude d'une transmission asynchrone en mode message. Le second était orienté vers l'étude d'une procédure synchrone en mode transparent.

Les problèmes essentiels dans le choix de la procédure sont l'utilisation de blocs de longueur constante ou non et la définition de la redondance. Les moyens permettant le démarrage ou la reprise de service après défaut doivent être également étudiés sous l'angle de la détection de perte de messages.

Nous avons mis en œuvre, dans l'une des expériences, une procédure utilisant des blocs de longueur constante et une protection par code cyclique. L'utilisation de blocs de longueur constante permet de protéger de façon identique les messages longs ou courts. De plus, l'utilisateur dispose d'une liberté totale pour

définir la longueur des messages qui peuvent varier de un à plusieurs octets et être à cheval sur plusieurs blocs. Nous avons obtenu ainsi une protection des messages et une sécurité de transmission au moins équivalentes à celle qui existait sur du matériel de téléconduite classique contrôlé par aller et retour.

Ces résultats ont été confirmés à la suite d'essais systématiques effectués sur la liaison à courants porteurs de la ligne 380 kV Chaingy-Villejust. Cette expérience a permis, en particulier, d'isoler des séquences d'erreurs qui nous permettent aujourd'hui d'évaluer les performances des divers modes de protection proposés par les constructeurs.

5.3. Intérêt d'une uniformisation des procédures dans le réseau de téléconduite – Les contraintes exposées en 5.1. ne laissent guère de liberté pour la conception de procédures de télétransmission. On peut d'ailleurs constater que les principales procédures existant actuellement ne sont pas fondamentalement différentes. Il semble donc que ces contraintes imposent des choix naturels tout à fait équivalents.

Dans ces conditions il apparaît que l'uniformisation des procédures dans un réseau de téléconduite ne limite pas les évolutions technologiques possibles et présente de nombreux avantages. La réduction de la durée de mise au point, le gain en volume de mémoire apportés par l'existence d'une seule procédure et la simplicité de connexion de nouveaux éléments sont les avantages les plus évidents.

Il convient par ailleurs, d'insister sur le fait que la standardisation des procédures facilite notablement la mise en place d'un réseau informatique, dont l'intérêt est aujourd'hui évident du simple fait de la nécessité d'échanger rapidement et sûrement des informations entre les différents éléments d'un système de conduite hiérarchisée : postes source, dispatching locaux et régionaux, dispatching national. Le problème dit de "transparence" des différents éléments d'un tel système vis-à-vis des informations en transit peut alors être aisément résolu par un simple algorithme de routage, sans transcodage.

Notons pour conclure que l'uniformisation des procédures facilitera la mise au point d'outils de simulation permettant de tester aisément tout matériel nouveau dans des cas réels de fonctionnement.

6. APERCUS SUR LES METHODES D'IMPLANTATION D'AUTOMATISMES EN CALCULATEUR

Disposant d'un calculateur dans un poste pour assurer la téléconduite, il est tentant de faire réaliser par ce même matériel l'ensemble des fonctions habituellement assurées dans les postes par des équipements individuels, et en premier chef, les automatismes : d'abord les automatismes de reprise de service, d'un niveau de sûreté modeste, ensuite, les automatismes de protection mais avec beaucoup plus de prudence étant donné leur niveau de sûreté bien plus élevé.

6.1. Problèmes posés par les automatismes – L'utilisation d'un calculateur industriel peut laisser penser qu'on dispose d'un outil souple, puisque programmable, et capable de concurrencer valablement les automatismes câblés.

En effet, il semble a priori plus simple d'introduire un ruban perforé dans un lecteur que de modifier un câblage.

En fait, on s'est aperçu que la simplicité de cette ultime étape ne suffit pas à conférer aux systèmes programmés la souplesse attendue pour la réalisation des automates si les opérations indispensables en amont, étude logique et programmation, ne sont pas elles-mêmes facilitées.

La réalisation d'un automate suppose en effet trois étapes :

- La spécification
- L'analyse
- La synthèse (réalisation)

Spécification – En général, le cahier des charges est rédigé par l'utilisateur final, lequel ne dispose bien souvent pour traduire ses besoins que du langage usuel. Ce langage est, en fait, mal adapté pour décrire le fonctionnement précis des automates.

L'analyse – L'analyse est la plupart du temps réalisée par des spécialistes qui traduisent sous une forme mathématique ou logique, exhaustive et non ambiguë, les spécifications du cahier des charges. On obtient ainsi une modélisation du cahier des charges. Le problème fondamental consiste alors à s'assurer que le modèle est conforme, c'est-à-dire :

- qu'il traduit parfaitement le cahier des charges,
- qu'il ne présente aucune ambiguïté, lesquelles peuvent d'ailleurs résulter du cahier des charges ou de la modélisation.

Il n'est donc pas rare que l'analyse conduise à modifier le cahier des charges. Il convient d'insister sur le fait que la phase d'analyse est la plus délicate, surtout dans le cas d'automates complexes, et que les méthodes permettant de vérifier la conformité d'un modèle sont rares et en général très lourdes à mettre en œuvre.

Synthèse - La synthèse consiste à matérialiser le modèle mathématique ou logique. Notons qu'au cours de la synthèse elle-même des aléas peuvent s'introduire, conduisant à modifier aussi le cahier des charges ou l'analyse. La synthèse est évidemment sanctionnée par les essais de qualification de l'équipement.

En définitive, il semble donc raisonnable d'étudier des méthodes homogènes permettant à la fois de spécifier, d'analyser et de réaliser. De telles méthodes doivent posséder les qualités suivantes :

- Permettre de détecter, au moyen de règles logiques, tous les aléas de fonctionnement possibles
- Etre adaptées à un traitement informatique
- Permettre la description et le traitement des fonctionnements parallèles
- Etre universelles
- Etre à la portée d'un usager non spécialiste.

Disons tout de suite que de telles méthodes n'existent pas à l'heure actuelle.

Une approche informatique naturelle serait d'utiliser des langages temps réel de haut niveau. Malheureusement ceux-ci sont encore peu répandus et leur taux d'expansion en temps d'exécution semble pour l'instant excessif.

On en vient donc à la conclusion que dans l'immédiat il faut développer des outils spécifiques de conception et de programmation des automates programmés.

Nous avons retenu et mis en œuvre deux méthodes récentes :

- la méthode des réseaux de Petri,
- la méthode des tables de décision,

chacune de ces méthodes ayant actuellement un domaine d'application préférentiel, suivant la centralisation plus ou moins poussée que l'on désire appliquer dans un poste.

Ces deux méthodes essaient de tirer un meilleur parti de la notion de réceptivité.

6.2. Notion de réceptivité - Parmi tous les événements agissant sur un automatisme, on s'aperçoit en réalité que, à un instant donné, seul un nombre assez restreint d'entre eux est capable d'avoir une influence sur l'état de cet automatisme. On dit alors que le système est réceptif à ces événements. Cette notion de réceptivité, absente des tables de fluence classiques, évite de prendre en compte à priori et constamment toutes les variables d'entrée. Pour déterminer toutes les évolutions possibles du système, il suffit de surveiller celles auxquelles l'automate est réceptif, d'où une simplification et un allègement considérable dans la formulation du fonctionnement et la charge du calculateur-automate.

6.3. Méthode des réseaux de PETRI - Un réseau de PETRI [2, 3, 4] se compose d'un graphe orienté, dans lequel le temps n'intervient pas, formé de places associées à des sorties du système et de transitions associées à des événements d'entrée. Chaque place est encadrée par des transitions amont, sur lesquelles agissent les événements susceptibles de provoquer le fonctionnement de la sortie associée à la place, et de transition aval susceptibles, au contraire, de l'annuler. C'est l'introduction de marqueurs dans les places du réseau qui va permettre d'animer ce graphe, essentiellement statique. La position des marqueurs dans le réseau indique en effet simultanément quel est l'état du système et quels sont les événements capables, à priori, de modifier cet état. Il s'agit bien là de la notion de réceptivité introduite précédemment.

L'apparition d'un événement auquel le système est réceptif, et d'un de ceux-là seulement, fera évoluer le marquage du réseau selon une règle du jeu bien précise, résumée en figure 6, déterminant ainsi un nouvel état et une nouvelle réceptivité.

C'est cet algorithme, indépendant de la structure du réseau sur lequel il s'exerce, qui est à la base du "programme joueur" que nous avons mis en œuvre pour réaliser des automatismes. Pour faciliter la synthèse, on a également été conduit à lui associer un "programme traducteur" qui transpose automatiquement, sous une forme directement utilisable par le "programme joueur", les informations (topologie, liaisons aux entrées et sorties), contenues dans le réseau de PETRI représentatif de l'automatisme à réaliser. Le programme traducteur est en fait un logiciel dit de niveau 4 dans le paragraphe 3.4.1., alors que le

"programme joueur" est très analogue à un programme de niveau 0, c'est-à-dire à un logiciel de base adapté au fonctionnement des automates.

- Règles :
1. Une transition est validée lorsque toutes ses places antérieures sont marquées.
 2. Lorsque l'évènement qui correspond à une transition validée se produit, les marqueurs sont transférés dans les places aval.

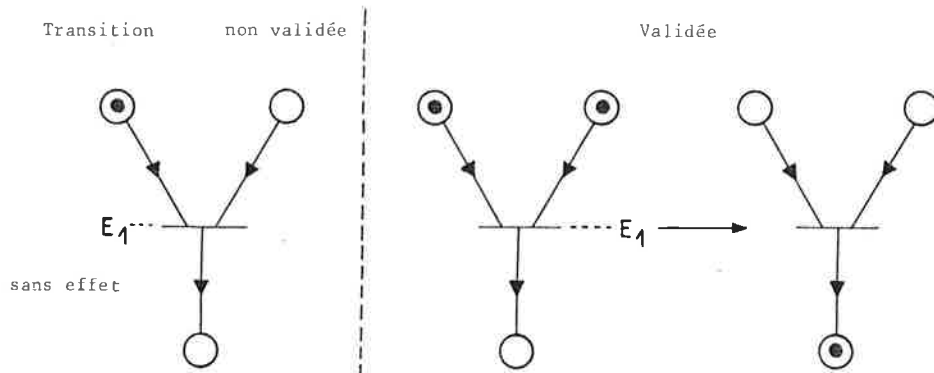


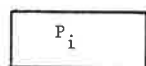
Figure 6 - Réseau de PETRI - Principe.

Au plan de l'analyse et de la rédaction des spécifications, le réseau de PETRI, grâce à son côté visuel et néanmoins rigoureux, apporte une aide très intéressante et peut constituer un support de dialogue aisé entre concepteur et spécificateur d'un automatisme.

6.4. Méthode des tables de décision [5] - Pour l'appliquer à la représentation des automatismes la table de décision est décrite sous la forme d'une matrice dont les lignes représentent les états du système, et les colonnes les évènements susceptibles d'agir sur lui. Lorsque le système est réceptif à un évènement, on indique, à l'intersection de sa ligne d'état du système, d'une part le nouvel état du système, d'autre part, l'action extérieure éventuelle à provoquer (ordre, alarme, signalisation, excitation d'un autre automate ou d'un programme).

La figure 7 donne un exemple des règles d'évolution à l'intérieur d'une table de décision.

Mémorisation de l'"état d'attente"



	E_1	E_2	E_4	Evenements
P_1				
P_2		P_3 A_7		
P_3		P_i A_i		
Etat d'attente				

Règle. Le système étant dans l'état P_2 , l'évènement E_2 le fait passer dans l'état P_3 . On réalise simultanément les actions notées A_7 .

Figure 7 - Table de décision - Principe.

Comme pour la méthode des réseaux de PETRI, celle des tables de décision impose une grande rigueur dans la définition de l'automatisme, ce qui évite toute ambiguïté entre prescripteur et réalisateur de l'automatisme. On démontre d'ailleurs qu'il est possible de construire la ou les tables de décision d'un automatisme à partir de son réseau de PETRI convenablement traité. Toutefois, une table de décision peut être moins parlante qu'un réseau de PETRI, et à cet égard, est moins commode que celui-ci au stade de la définition fonctionnelle de l'automate.

Cet inconvénient est compensé par de meilleures performances dans la traduction informatique. L'exécution est particulièrement rapide, car la décision adéquate est atteinte en une seule étape, et le répertoire d'instructions des calculateurs actuels est parfaitement adapté au mode de traitement nécessaire. En outre, la structure matricielle de la table permet de la décomposer en sous-matrices, ayant peu de liens entre elles, constituant donc des sous-automates dont la gestion peut être placée sous le contrôle d'un moniteur. On augmente ainsi la capacité de traitement des automatismes, chaque automate étant conçu comme s'il était seul. On doit connaître seulement les dialogues entre automates et les synchronisations nécessaires dans l'exécution, qui sont prises en charge par les moniteurs existants. Ainsi chaque problème peut conserver une dimension réduite pour que la compréhension demeure aisée et que les modifications ultérieures restent possibles sans devoir repenser l'ensemble de l'automate.

6.5. Application à des automatismes de postes — Les méthodes des réseaux de PETRI et des tables de décision permettent de faire une analyse précise des fonctions d'un automate. Elles permettent, en outre, de disposer simplement d'une programmation automatique de ces automatismes. Toutes deux sont donc bien adaptées à l'implantation d'automatismes séquentiels dans un calculateur.

Le caractère concret et proche du langage courant des réseaux de PETRI les rend très séduisants pour la spécification. En revanche, leur programmation directe s'applique assez peu commodément au cas où l'on voudrait réaliser sur un même calculateur des automatismes nombreux, ayant éventuellement des niveaux de priorité différents. Nous l'avons développée essentiellement en vue de réaliser les automatismes de tranche des postes, dans une conception décentralisée utilisant des microprocesseurs.

Les tables de décision, plus connues, sont d'une écriture plus délicate au moment de la spécification. Cependant, leur programmation permet des performances plus complètes, et en particulier rend relativement aisé le mélange, dans un même calculateur, de fonctions de conduite, de consignation d'état et d'automatisme. Elles constituent donc l'outil de choix pour une réalisation d'automatismes, dans une architecture centralisée, dans la mesure où cette centralisation est judicieuse et où l'on a su prendre de très grandes précautions de sécurité requises dans l'analyse et la programmation de l'automatisme.

On trouve en figures 8 et 9 un exemple concret d'application de deux représentations d'automatismes au cas d'un réenclencheur simplifié.

7. CONCLUSION

La faisabilité et l'intérêt économique du calculateur de poste ne font, aujourd'hui, plus aucun doute. De plus nos expériences ont révélé que les possibilités potentielles de ces équipements dépassent très largement les besoins requis par les seules fonctions de téléconduite et d'enregistrement d'événements dans les postes de taille petite et moyenne.

Toutefois, la souplesse d'emploi d'un tel équipement et ses possibilités de valorisation par l'intégration de fonctions nouvelles reposent essentiellement sur le respect de règles de mise en œuvre très strictes.

Pour les matériels :

- Emploi de matériels standards, vendus sur catalogue, bénéficiant d'une large diffusion et dotés d'un logiciel de base suffisamment étoffé
- Utilisation de calculateurs dotés de dispositifs d'alarmes internes
- Réduction des interfaces aux rôles de découplage et de mise en forme des informations
- Utilisation d'interfaces de télécommunication conformes aux recommandations des principaux organismes internationaux
- Essais de qualification systématiques et sévères.

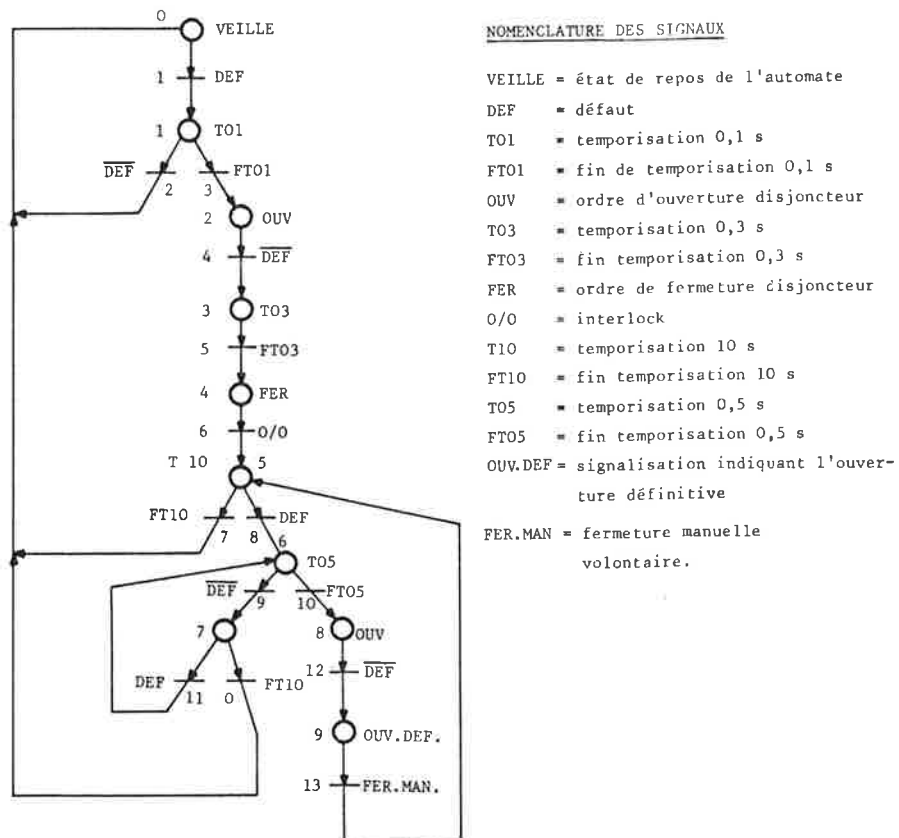


Figure 8 -- Représentation d'un réenclencheur rapide simplifié par un réseau de PETRI.

	DEF	\overline{DEF}	FT01	FT03	O/O	FT10	FT05	FER.MAN
0	1 T01	/	/	/	/	/	/	/
1	/	0 $\overline{T01}$	2 OUV	/	/	/	/	/
2	/	/	3 T03	/	/	/	/	/
3	/	/	/	4 FER	/	/	/	/
4	/	/	/	/	5 T10	/	/	/
5	6 T05	/	/	/	/	0 /	/	/
6	/	7 T05	/	/	/	/	8 OUV	/
7	6 T05	/	/	/	/	0 /	/	/
8	/	9 OUV.DEF	/	/	/	/	/	/
9	/	/	/	/	/	/	/	5 OUV.DEF T10

Adresse du nouvel état

Action

Figure 9 -- Représentation du réenclencheur rapide selon les mêmes spécifications que ci-dessus par une table de décision. Cette table de décision n'est pas réduite. On remarque en particulier que les états d'attente 5 et 7 peuvent être confondus.

Pour les logiciels :

- Etude d'algorithmes adaptés au traitement numérique
- Organisation modulaire et paramétrable du logiciel
- Utilisation d'un moniteur multitâches
- Désynchronisation des entrées-sorties d'informations et des traitements
- Intégration d'autocontrôles dans le logiciel d'application
- Standardisation des procédures et, si possible, des protocoles du logiciel de télétransmission
- Essais fonctionnels systématiques des logiciels.

La prise en compte des automatismes d'un poste par des calculateurs présente des avantages certains par rapport aux automatismes câblés. Mais ces avantages pourraient devenir illusoire si des méthodes efficaces de traitement des automatismes n'étaient pas utilisées par les concepteurs. Les méthodes décrites se sont avérées bien adaptées à la réalisation d'automatismes programmés et on a tout lieu de penser qu'on assistera dans les prochaines années à une restructuration profonde de la partie basse tension des postes.

Il faut toutefois garder conscience que de très grandes précautions doivent être prévues à un niveau de l'analyse et de la programmation des automates si l'on veut que ceux-ci puissent assurer leur rôle avec la sécurité et la souplesse nécessaires.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Barret J.P., Kowal J., Noé C. - Développement de la conduite automatique du réseau de transport à Electricité de France. CIGRE - Session 1974 - Rapport 32-14.
- [2] Patil S.S., Dennis J.B. - The description and realization of digital systems. Revue française d'informatique, d'automatique et de recherche opérationnelle - série jaune - Février 1973.
- [3] Blanchard M., Cavarroc J.C., Gillon J., Marchand J., Guidez G., Thuillier G. - Automatismes à séquences - Toulouse 1973. Rapport final du contrat n°71.7.2912 de la délégation générale à la recherche scientifique et technique (D.G.R.S.T.), Paris.
- [4] Tourres L. - Une méthode nouvelle d'étude des systèmes logiques et son application à la réalisation d'automatismes programmés. Revue Générale de l'Electricité - 1975.
- [5] Sabathe J.P. - Programmation des automatismes en calculateur. Note EDF - HR-43-0265 - Juin 1975.