

INIS-mf--423

ES 7800193

A. I. E. A.

---

CONTROLE ET INSTRUMENTATION DES CENTRALES NUCLEAIRES

---

REUNION DE MADRID

4-6 OCTOBRE 1977

---

ETUDE ET GESTION DU CABLAGE  
DES CENTRALES NUCLEAIRES PAR ORDINATEUR

---

Bernard FRALUS  
CGEE ALSTHOM  
13, rue Antonin Raynaud  
92309 LEVALLOIS PERRET  
FRANCE

La communication qui suit se propose d'exposer, les problèmes particuliers rencontrés dans les bureaux d'études et sur les chantiers pour l'exécution des câblages des grandes centrales nucléaires, problèmes qui pour une large part trouvent leur origine dans les réglementations de sûreté et les prescriptions d'Assurance Qualité ; l'exposé qui va suivre sera pour l'essentiel axé sur l'incidence de ces dernières prescriptions sur l'organisation et l'exécution du câblage des centrales nucléaires.

## I - LES PROBLEMES PARTICULIERS DU CABLAGE DES CENTRALES NUCLEAIRES

Quels sont les problèmes auxquels sont confrontés les bureaux d'études et les équipes de montage ? Tout d'abord la conception et la réalisation doivent respecter les règles habituelles du métier. Il serait superflu de les rappeler car elles sont bien connues et on peut dire qu'elles sont maîtrisées dans les bureaux d'études et sur les chantiers. Ensuite, à ces règles se superposent les contraintes particulières qui découlent des impératifs de sûreté nucléaire : citons par exemple la tenue au séisme des chemins de câble et la séparation des câbles en voies distinctes pour assurer l'indépendance des systèmes redondants auxquels ils se rattachent. Ces règles sont maintenant bien connues des bureaux d'études qui les maîtrisent convenablement - ce qui ne veut pas dire facilement. Par contre, au niveau des exécutants sur les chantiers, ces règles ne sont pas aisément maîtrisables par les méthodes classiques car elles ne sont pas intuitives et vont souvent à l'encontre des réflexes acquis par les monteurs dans la réalisation du câblage d'installations conventionnelles : ainsi, utiliser au mieux un réseau de tablettes pour tirer les câbles au plus court sera le réflexe normal d'un bon monteur et dans bien des cas ceci peut se révéler incompatible avec le respect de la séparation des câblages en voies redondantes. Qu'on le déplore ou non on ne peut plus dans ce domaine laisser d'initiatives au chantier.

Etant donc conduits à fournir au chantier des indications ne prêtant pas à interprétation, il faut bien avoir conscience que ces indications devront être détaillées et surtout nombreuses : préciser sans ambiguïté le cheminement d'un câble dans un réseau de tablettes requiert que soient indiqués en moyenne 20 points de passage qui en jalonnent le parcours. Appliqué aux 15 000 câbles d'une tranche nucléaire dans la gamme des 900 MWe, cela fait 300 000 indications à porter sur des documents et à vérifier : le travail est considérable.

Car c'est là encore une des caractéristiques des centrales nucléaires que l'importance des matériels de tous ordres mis en oeuvre, notamment en matière de câblage. Pour illustrer par quelques chiffres représentatifs cet aspect des activités nucléaires, on peut indiquer que l'équipement électrique d'une tranche nucléaire de 900 MWe nécessite :

15 000 000 mètres de câbles

100 000 mètres de câbles

100 000 mètres de câbles

...

- 80 km de tablettes (non compris les supports de câbles cheminant individuellement)
- 15 000 liaisons par câble
- 150 types de câbles (puissance, contrôle, mesure)

Et si l'on situe ces chiffres, déjà impressionnants en valeur absolue, dans la perspective de leur évolution au fil des années, on peut être préoccupé par les volumes de câbles qu'il faudra mettre en oeuvre dans les années à venir, du moins si certaines innovations techniques (qu'on peut d'ailleurs imaginer) n'infléchissent pas la tendance à l'inflation : par exemple les 15 000 câbles actuels n'étaient que 10 000 en 1970 ; par exemple aussi M. MANDEL dans un exposé remarqué à la conférence nucléaire européenne de PARIS en 1975 soulignait la croissance très rapide du nombre des appareils servant au contrôle des installations d'une tranche nucléaire et il est clair qu'il y a une relation étroite entre l'évolution du nombre de ce type d'appareils et celle du câblage de la centrale :

en 1965 : 4 500 appareils  
en 1970 : 1 300 appareils  
en 1975 : 2 300 appareils

On est donc en face d'une activité où sont mis en oeuvre des volumes de matériel importants et en croissance rapide et qui nécessite l'exécution de normes d'études détaillées afin de donner au chantier un nombre impressionnant d'informations.

L'exécution du câblage des centrales nucléaires doit respecter certaines prescriptions d'Assurance Qualité. Si par exemple, on se réfère aux normes américaines de l'ANSI, on y relève les prescriptions suivantes :

On prendra particulièrement soin d'appliquer les dispositions (de documents cités par ailleurs) aux opérations telles que ... la mise en place des câbles en respectant la séparation prescrite entre systèmes redondants.

Les contrôles de la bonne exécution de l'installation devront comprendre ... la vérification ... de la mise en place convenable des câbles.

- ANSI N45-2-9 : cette norme cite parmi les archives à conserver au moins 1 an "les procès-verbaux de vérification des séparations de câbles"

L'obligation d'appliquer les règles de l'Assurance Qualité entraîne alors toute une série de contraintes dans l'exécution des travaux des bureaux d'études et des équipes de montage : on peut acquérir une idée générale de ces contraintes dans le document U.S. : appendice B du 10 C FR 50 et une connaissance déjà plus détaillée, toujours dans le cadre de la réglementation américaine, dans la norme ANSI N45-2 et les autres normes qui s'y rattachent.

Dans le domaine qui nous concerne ici, c'est-à-dire, le câblage des grandes centrales nucléaires, on peut ainsi résumer ces règles : l'Entrepreneur chargé du câblage doit mettre en place une organisation, des méthodes de travail et des moyens tels qu'il puisse apporter la preuve écrite que ses études ont été bien faites puis vérifiées par du personnel indépendant, compétent et correctement informé ; qu'ensuite il puisse apporter la preuve écrite que la mise en place des câbles a été exécutée conformément aux études, suivant des procédures écrites strictes, par un personnel de bonne qualité et que la bonne exécution a été contrôlée ; ceci essentiellement pour les aspects suivants de son activité :

- charge linéaire des tablettes à câbles qui, suivant le type de tablettes adopté et les méthodes de montage, doit être inférieure à des valeurs calculées pour respecter les critères de tenue au séisme.

- respect des règles de séparation

entre câbles transitant des énergies de niveaux différents (MT-BT - Contrôle - Signaux de thermocouples ...)

entre câbles de voies différentes appartenant à des systèmes redondants (au sens de la sûreté nucléaire - au sens de la sécurité des matériels - au sens de la disponibilité de l'installation).

Confronté aux problèmes que nous venons d'exposer brièvement, quelles sont les dispositions que peut prendre l'Entrepreneur chargé du câblage ?

Il peut confier tout le travail de définition à des hommes, tant en bureau d'études que sur le chantier et faire exécuter par ces hommes les tâches nombreuses et fastidieuses consistant à suivre presque mètre par mètre le cheminement de chacun des 15 000 câbles, à s'assurer qu'aucun câble n'est jamais trop proche d'un autre câble d'une famille différente, à s'assurer en permanence que les tablettes à câbles ne sont jamais exagérément chargées : tâches vraiment fastidieuses où l'attention se relâche facilement entraînant de nombreuses erreurs qu'il faut essayer de détecter en faisant vérifier les études par des équipes différentes qui, elles aussi font de nombreuses erreurs

qu'on découvre également sur le chantier où on essaie de les redresser sans avoir tous les éléments d'information nécessaires et où souvent on ne fait qu'aggraver les choses ; on entre alors dans le cycle des modifications et des contrôles, solution lourde, onéreuse, peu élégante et dont on n'est jamais sûr qu'elle n'a pas laissé subsister des erreurs.

CGEE ALSTHOM a étudié le problème de la conception et de la réalisation d'une idée générale de câblage et de son exécution sur le terrain. Elle a développé un système d'étude et de gestion du câblage par ordinateur, que nous allons maintenant décrire.

Le système d'étude et de gestion du câblage par ordinateur est un système qui permet à l'entrepreneur chargé du câblage de concevoir en place une organisation, des méthodes de travail et des moyens à l'aide desquels il puisse apporter la preuve écrite que ses études ont été réalisées de manière satisfaisante par un personnel indépendant, compétent et consciencieux. Il lui permet également d'apporter la preuve écrite que la mise en œuvre des câbles a été effectuée conformément aux études, dans les délais et aux conditions prévues, par un personnel de bonne

**II - ETUDE ET GESTION DU CABLAGE PAR ORDINATEUR**

Les tâches, partiellement ou totalement, confiées au système informatique et relevant des préoccupations développées précédemment sont les suivantes :

- détermination automatique des itinéraires de câbles
- gestion de l'occupation des tablettes
- gestion des tourets et suivi des lots de fabrication

Le système informatique permet également de :

- gérer les câbles appartenant aux différentes catégories de niveau différents (MT-BT - Contrôle - Signal de commande, etc.)

**II.1 - DETERMINATION AUTOMATIQUE DES ITINERAIRES DE CABLES**

Chaque câble de la centrale fait l'objet d'un poste de la nomenclature générale des câbles où l'on trouve une première rubrique d'identification du câble : repère, voie de sécurité, désignation des tenants et aboutissants géographiques et fonctionnels, caractéristiques (nombre de conducteurs, section ...) marquage de couleur à porter sur le câble au moment du tirage en fonction de sa voie d'affectation et sa classe de sûreté, identification des modifications ayant affecté le câble.

Le deuxième poste de la nomenclature est une rubrique où l'on trouve cette rubrique est remplie par le bureau d'études. Cette rubrique est remplie par le bureau d'études en permanence par un personnel qui n'est jamais excusé de ses tâches principales. Ce personnel se relie facilement entraînant de nombreuses erreurs qui sont détectées en faisant vérifier les études par des techniciens expérimentés qui, elles aussi font de nombreuses erreurs.

La deuxième rubrique d'un poste de nomenclature de câbles comporte toutes les informations se rapportant à l'itinéraire du câble : c'est la liste des tablettes empruntées et des locaux traversés dans l'ordre de déroulage du tenant vers l'aboutissant. Cette rubrique est remplie par l'ordinateur.

Pour ce faire, le réseau de tablettes tel qu'il est installé est décrit une fois pour toutes. A l'intérieur de ce réseau on définit un certain nombre de sous-réseaux, appelés "graphes", composés de tablettes ou tronçons de tablettes reliant entre eux les points singuliers du réseau appelés "noeuds" (croisement, dérivation, changement de côte ou de direction...). Ces graphes sont constitués de manière telle qu'il n'y ait jamais possibilité de mélanger dans le même graphe des voies de sécurité différentes ou des tablettes de nature différente. On aboutit ainsi à la constitution de plusieurs graphes distincts (contrôle voie A, contrôle voie B, mesure...).

A l'intérieur de ces graphes principaux, on constitue des portions de graphes, appelées "branches" qui correspondent à des passages obligés traduisant d'une manière simple les affectations fonctionnelles faites a priori pour organiser les grands flux de câbles.

Chaque noeud est implanté géographiquement dans un maillage général couvrant l'ensemble du site.

et relevant des données géographiques sont les suivantes :  
A la lecture des tenants et aboutissants géographiques l'ordinateur positionne les extrémités du câble dans le maillage général et en déduit, en fonction des critères de proximité, le graphe sur lequel l'itinéraire débutera et finira. Les points d'entrée et de sortie une fois identifiés et validés le programme explore l'ensemble des chemins possibles pour relier ces deux points et n'en conserve que le plus court.

Le programme utilise un algorithme conçu pour rechercher dans les meilleurs délais le chemin optimum dans un graphe comportant dans certains cas de figure plus de 5000 noeuds, ce qui représente un nombre de chemins possibles considérable.

La construction des graphes représente une saisie de données très importantes par la quantité d'informations à coder et les validations à effectuer.

Cette saisie s'effectue au bureau d'études où, axe de câblage par axe de câblage les informations concernant les tablettes (implantation géographique, taille, affectation...) sont recensées, traduites en cartes perforées (environ 20 000 pour une tranche nucléaire) et subissent un premier traitement de validation. Une deuxième validation a ensuite lieu sur le chantier qui doit vérifier que l'exécution de l'installation est conforme aux plans.

L'existence des tablettes étant ainsi validée, le réseau peut alors être transformé en graphes prêts à être utilisés par l'ordinateur pour la détermination des itinéraires.

Au fur et à mesure que les câbles sont définis, le bureau d'études remplit un bordereau d'entrée en nomenclature donnant l'identification des câbles. Ces bordereaux sont traduits en cartes perforées (1 carte par câble) et subissent un premier traitement de validation de la partie identification. Quand un câble est entièrement validé, il subit le deuxième traitement qui détermine son itinéraire dans le réseau.

D'autres programmes moins complexes permettent de faire les mises à jour de la nomenclature des câbles (adjonction ou suppression de câbles, changement des caractéristiques du câble, changement de tenant et/ou d'aboutissant...).

Ces programmes sont conçus de telle sorte qu'il n'y ait jamais possibilité de mélanger dans le même programme des voies de sécurité différentes ou des graphes équivalents (voies de sécurité, contrôle voie, mesure ...).

**II.2 - GESTION DE L'OCCUPATION DES TABLETTES**

La gestion des portions de graphes, appelées tablettes, est assurée par des programmes obligés s'adaptant à une manière précise de l'occupation des tablettes à priori pour organiser

Le remplissage des tablettes à câbles doit se faire en respectant diverses contraintes : respect de l'encombrement maximum autorisé, respect des réservations faites aux différentes entreprises utilisant un même axe de câblage, l'identification des câbles sur les tablettes. Cette gestion est également assurée par ordinateur.

Un fichier des différents types de câbles utilisés dans la centrale est établi, qui comporte les principales caractéristiques de ces câbles (nombre et section des conducteurs, poids au mètre linéaire, diamètre extérieur ...).

On définit, par des coupes positionnées dans le maillage, les points du réseau dont on veut surveiller le remplissage : une tranche de la centrale de BUGEY comporte ainsi plus de 1 300 coupes à surveiller.

Une première répartition des disponibilités entre les différentes entreprises est alors faite, en affectant des pourcentages d'occupation des tablettes à ces entreprises.

Toutes ces données sont entrées en ordinateur et constituent le fichier des disponibilités. A partir de ce fichier et du fichier donnant les caractéristiques des câbles, on peut procéder aux traitements de gestion de l'occupation des tablettes : chaque fois qu'une tablette est susceptible d'être empruntée, le programme vérifie d'abord que les coupes qui seront traversées par le câble, ne sont pas pleines ou interdites.

Dès que l'itinéraire définitif est arrêté par l'ordinateur, l'encombrement du câble et son identification sont pris en compte par l'ordinateur et affectés à la coupe correspondante. Il suffit de cumuler les encombrements des différents câbles passant à travers une même coupe pour en déduire le pourcentage d'occupation ; celui-ci est toujours comparé au disponible afin de surveiller le remplissage.

Il est à noter que, puisque pour chaque coupe on a gardé en mémoire le numéro du câble, il est très facile d'en demander la restitution et d'établir ainsi à la demande, la liste des câbles transitant sur une tablette à un endroit déterminé : ceci permet de savoir rapidement et sans risque d'erreur les affectations fonctionnelles des câbles qui traversant une zone géographique donnée permettant ainsi, en cas de modification des conditions d'environnement de cette zone (risque de missiles par exemple), d'apprécier les dispositions complémentaires de protection des câbles à prendre en fonction de l'importance de ceux-ci dans l'installation.

### II.3 - GESTION DES TOURETS ET SUIVI DES LOTS DE FABRICATION

Il est impératif, pour respecter les prescriptions d'Assurance Qualité, de pouvoir suivre jusqu'au bout la qualité des fabrications et de pouvoir identifier, sur place après montage, tous les matériels, et ici les câbles, correspondant à des spécifications et des lots de fabrication identifiés. Pour les câbles, l'identification des lots de fabrication est faite en usine par marquage direct sur le câble.

Les tourets de câbles issus d'un lot de fabrication subissent des essais en usine avant livraison sur le site. Mais les liaisons ne sont pas affectées a priori aux tourets : elles sont débitées au fur et à mesure de l'avancement des travaux. Pour faciliter dans le maillage, les points du réseau sont repérés par une tranche de la centrale. Il faut donc, si un lot de fabrication présente un défaut, détecté seulement après tirage des câbles, pouvoir retrouver tous les câbles tirés appartenant à ce lot : à cette fin, le chantier établit des "fiches tourets" sur lesquelles sont reportées toutes les liaisons prélevées et comportant les renseignements suivants : repère du câble, numéro du touret sur lequel il a été prélevé, longueur de la liaison (indices métriques du tenant et de l'aboutissant) date du tirage, confirmation par le chantier que le câble a été tiré conformément à l'itinéraire prévu. Ces informations sont inscrites sur un bordereau dont le format permet une perforation directe sans recopie. Par ailleurs, à chaque livraison de câbles sur le site, la liste des tourets est entrée dans l'ordinateur pour constituer le "fichier touret".

Ces diverses informations ainsi que les retours en provenance du chantier permettent donc d'éditer les "fiches tourets" donnant, par touret, la liste des liaisons débitées. Cette liste est comparée au disponible afin de surveiller les livraisons.



III - CONCLUSION

Le système d'étude et de gestion des câbles par ordinateur mis au point par CGEE ALSTHOM, répond bien au souci d'exécuter une installation conforme au niveau de qualité requis dans les centrales nucléaires.

En dégageant les bureaux d'études des tâches fastidieuses confiées à l'ordinateur, on atteint bien le double but visé : les travaux de réflexion restent du domaine des hommes qui, dégagés des tâches subalternes, ont la disponibilité nécessaire pour les exécuter convenablement. Quant aux tâches fastidieuses, qui n'en sont pas moins importantes, elles sont assurées sans risque d'erreur par l'ordinateur.

Une approche méthodique des problèmes, des vérifications successives, une série d'aller-retour avec le chantier pour s'assurer en permanence que la réalisation est toujours en parfait accord avec les études, l'édition de documents précis et détaillés, tout ceci permet d'assurer la qualité de la réalisation et d'en apporter la preuve.

Il est évident aussi, et cet aspect de la méthode décrite ici n'a pas été abordé car il sortait du cadre des préoccupations de la présente réunion, que l'outil informatique développé par CGEE ALSTHOM est riche de possibilités dans les domaines ne concernant pas directement la sécurité et l'Assurance de la Qualité.

En effet, la somme des informations dont dispose l'ordinateur, le caractère précis et détaillé de celles-ci, permettent à l'Entrepreneur de mieux organiser, gérer et exécuter ses activités conventionnelles : gestion de son parc à câbles, connaissance continue des quantités posées, facturation au client, optimisation de la rotation des tourets, organisation des campagnes de câblages, établissement de statistiques diverses etc...

Nous concluons en signalant que cette méthode d'étude et de gestion des câbles par ordinateur est opérationnelle et qu'elle est utilisée actuellement pour la réalisation du programme de centrales nucléaires lancé par ELECTRICITE DE FRANCE et que sa première application a été faite à la centrale de BUGEY (4 tranches 900 MW).

