



Collection technique

# Cahier technique n° 156

Sûreté de fonctionnement  
et tableaux électriques BT

P. Romanet-Perroux



Les Cahiers Techniques constituent une collection d'une centaine de titres édités à l'intention des ingénieurs et techniciens qui recherchent une information plus approfondie, complémentaire à celle des guides, catalogues et notices techniques.

Les Cahiers Techniques apportent des connaissances sur les nouvelles techniques et technologies électrotechniques et électroniques. Ils permettent également de mieux comprendre les phénomènes rencontrés dans les installations, les systèmes et les équipements.

Chaque Cahier Technique traite en profondeur un thème précis dans les domaines des réseaux électriques, protections, contrôle-commande et des automatismes industriels.

Les derniers ouvrages parus peuvent être téléchargés sur Internet à partir du site Schneider.

Code : <http://www.schneider-electric.com>

Rubrique : **maîtrise de l'électricité**

Pour obtenir un Cahier Technique ou la liste des titres disponibles contactez votre agent Schneider.

La collection des Cahiers Techniques s'insère dans la « Collection Technique » du groupe Schneider.

### **Avertissement**

L'auteur dégage toute responsabilité consécutive à l'utilisation incorrecte des informations et schémas reproduits dans le présent ouvrage, et ne saurait être tenu responsable ni d'éventuelles erreurs ou omissions, ni de conséquences liées à la mise en œuvre des informations et schémas contenus dans cet ouvrage.

La reproduction de tout ou partie d'un Cahier Technique est autorisée après accord de la Direction Scientifique et Technique, avec la mention obligatoire : « Extrait du Cahier Technique Schneider n° (à préciser) ».

# n° 156

## Sûreté de fonctionnement et tableaux électriques BT

---



**Philippe Romanet-Perroux**

**Ingénieur diplômé de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, et de l'Ecole Supérieure des Affaires, est entré chez Merlin Gerin en 1983.**

**Après avoir réalisé des études de réseaux électriques, il a participé au développement de produits, puis a été chef de projet au sein de l'activité Alimentation Sans Interruption. Il est actuellement responsable du support technique pour l'activité Equipements et Systèmes Basse Tension.**

---

## Lexique

---

**Appareil intelligent** : appareil qui possède des moyens propres de traitement et une certaine autonomie de fonctionnement par rapport au système informatique auquel il est connecté.

**ASI** : alimentation sans interruption, souvent appelé onduleur.

**BT** : basse tension.

**Bus médium** : liaisons permettant d'échanger des informations numérisées entre différents éléments qui lui sont raccordés.

**CEI** : commission électrotechnique internationale.

**Centrale de tableau** : produit destiné à regrouper l'ensemble des informations disponibles dans le tableau et son environnement direct, à réaliser des traitements sur ces informations et à communiquer avec un système de conduite, afin de rendre un tableau BT intelligent.

**ES** et **EDS** : ensemble de série et ensemble dérivé de série sont des équipements BT définis par des normes qui leurs imposent différentes caractéristiques techniques, règles de conception et d'essais.

**GTB** : gestion technique du bâtiment.

**GTC** : gestion technique centralisée.

**GTE** : gestion technique de l'électricité.

**GTP** : gestion technique de process.

**HT** : haute tension.

**IP** : degré de protection des tableaux basse tension.

**MCC** : Motor Control Center ; tableau BT regroupant les éléments de contrôle-commande de plusieurs moteurs (et, d'une manière générale, le contrôle commande de tous les actionneurs présents sur un process).

**MT** : moyenne tension.

**MTBF** (Mean Time Between Failure) : temps moyen entre deux défaillances d'un système réparable.

**MTTR** (Mean Time To Repair) : durée moyenne de réparation.

**PE** : conducteurs de protection.

**Protocole** : séquence des règles à suivre pour établir et entretenir des échanges d'informations par bus entre des stations.

**Réseau de communication** : équivalent au terme bus de communication ; le mot bus est préféré au terme réseau, celui-ci étant souvent utilisé pour parler de réseau électrique.

**TGBT** : tableau général basse tension.

**TGI** : Tableau à Gestion Intégrée (ou Tableau Général basse tension Intelligent) ; équipement qui réunit l'appareillage électrotechnique de la distribution de puissance, et une centrale de tableau ; l'ensemble étant relié par des bus de communication afin de réaliser le contrôle-commande de la distribution électrique.

---

# Sûreté de fonctionnement et tableaux électriques BT

---

## Sommaire

<b>1 Introduction</b>		<b>p. 4</b>
<b>2 Fonctionnalités des tableaux</b>	2.1 Le tableau et ses fonctions	<b>p. 5</b>
	2.2 La garantie fonctionnelle du tableau	p. 8
<b>3 Un niveau de sûreté fonction du besoin</b>	3.1 Les caractéristiques de la sûreté de fonctionnement	<b>p. 10</b>
	3.2 Les concepts de sûreté industrielle	p. 13
	3.3 Les niveaux de sûreté requis	p. 20
<b>4 Le tableau, perspectives d'avenir</b>	4.1 La Gestion Technique de l'Electricité	<b>p. 23</b>
	4.2 La GTE apporte un « plus » sûreté	p. 23
	4.3 La technologie	p. 24
	4.4 Le tableau « intelligent »	p. 25
<b>5 Conclusion</b>		<b>p. 27</b>
<b>Annexe : bibliographie</b>		<b>p. 28</b>

# 1 Introduction

Ce Cahier Technique traite de la sûreté des réseaux Basse Tension - BT - de l'industrie et du tertiaire. Son but est d'apporter des éléments de réponse à la question « quelle doit être l'installation face au besoin de disponibilité en énergie électrique ? »

Le sujet est abordé ici sous l'angle des tableaux BT.

Il traite les problèmes suivants :

- quelles sont leurs fonctions permettant de pallier toute défaillance du système de distribution BT ?
- comment les utiliser ?
- avec quel appareillage ?
- dans quel environnement réseau (nombre de sources et de récepteurs, type de schéma de liaison du neutre à la terre ou régime de neutre) ?

Tout ceci en tenant compte d'une réalité : les tableaux BT sont le centre de la maîtrise de l'énergie électrique.

Ce document permet aux exploitants comme aux concepteurs d'installations électriques de :

- visualiser les points auxquels ils doivent s'intéresser, ceux-ci ayant été développés à partir de choix techniques dans le sous chapitre « les concepts de sûreté industrielle ». Ces développements se réfèrent à des niveaux de fiabilité calculés sur des cas concrets, ils aboutissent à des réponses en terme de type de matériels. Une synthèse en est faite dans le sous chapitre « les niveaux de sûreté requis »,
- constater l'importance croissante de l'apport de la Gestion Technique de l'Electricité - GTE - dans la sûreté au niveau du tableau BT.

## 2 Fonctionnalités des tableaux

Le tableau électrique est le point de passage indispensable du courant électrique.

Il intègre des appareils qui assurent :

- la distribution de l'énergie électrique et la protection des circuits,
- la protection des personnes,
- le contrôle et la commande de l'installation.

Les récents développements de cette partie contrôle-commande font du tableau le centre vital de l'installation : de sa sûreté dépend la sûreté de l'ensemble d'une installation ; de son « évolutivité » dépend la survie de toute l'activité industrielle ou tertiaire qu'il alimente.

Cette sûreté de fonctionnement de la distribution électrique se décline en :

- probabilité très faible de panne (fiabilité),
  - pas de panne dangereuse (sécurité),
  - bon état de fonctionnement le plus souvent possible (disponibilité),
  - réparation rapide (maintenabilité),
- ...et cela durant toute l'existence de l'installation.

Ces notions de sûreté de fonctionnement et d'évolutivité sont à prendre en compte lors de la phase de conception du tableau.

La gestion de l'installation doit être décentralisée (voir Cahier Technique n°186). Les automatismes de délestage et reletage, de permutation, les appareils de mesures, de protection..., sont placés au plus proche de l'utilisation, cela permettant :

- une modularité optimale obtenue par la disposition des différents éléments,
- une fiabilité accrue car une défaillance locale ne doit pas paralyser l'ensemble de l'installation,
- une convivialité certaine pour l'exploitant de par les possibilités de contrôle et de commande locales sur les tableaux divisionnaires, ainsi

qu'au niveau central par la supervision : le dialogue entre ces différents niveaux de la distribution est aujourd'hui grandement facilité par les bus de communication.

Conséquence de cette décentralisation, une partie de « l'intelligence » est intégrée aux différents tableaux BT d'une installation qui rassemblent tous les organes actifs, entre le transformateur et l'utilisation terminale (cf. **fig. 1**).

Ainsi se trouve conçu un système de tableaux regroupant :

- le TGBT (Tableau Général Basse Tension),
- les MCC (tableaux de commande moteurs),
- les tableaux divisionnaires,
- les coffrets de distribution terminale.



**Fig. 1** : l'intelligence est maintenant intégrée dans les tableaux BT (Digibloc - Merlin Gerin).

### 2.1 Le tableau et ses fonctions

Un certain nombre de constituants ou spécificités du « tableau » réalisent et/ou garantissent ses finalités, en terme fonctionnel.

#### ■ L'architecture du réseau BT

Elle se traduit par un découpage en différents tableaux, coffrets..., répartis géographiquement, ce qui réalise le plan de l'installation.

Ensuite, différentes zones sont définies au sein du tableau :

- appareillage,
- jeu de barres,

- raccordement,
- auxiliaires.

Les distances d'isolement et de sécurité minimales doivent déjà être respectées.

#### ■ Les unités fonctionnelles

Elles permettent de réaliser les fonctions électriques correspondant aux besoins de l'utilisateur. Chaque unité rassemble l'appareillage destiné à couvrir une fonction, par exemple la protection d'un départ ou d'un ensemble de départs, la commande d'un moteur, l'arrivée du courant dans le tableau...

■ L'enveloppe

Elle matérialise le volume électrique. Elle assure simultanément :

- la protection des matériels électriques qu'elle contient contre les influences externes,
- la protection des personnes contre les chocs électriques (contacts direct et indirect).

□ Protection du matériel

Elle est assurée contre la pénétration des corps étrangers solides et des liquides par l'étanchéité plus ou moins grande de l'enveloppe.

□ Protection des personnes

Elle est assurée par :

- l'interconnexion de toutes les parties métalliques (charpentes, enveloppes, y compris la porte), qui sont reliées à la terre via les conducteurs de protection - PE - ,
- la minimisation des orifices (aérations, passages des câbles...) qui ne doivent pas permettre de toucher une partie sous tension, directement ou à l'aide d'outils (tournevis par exemple),
- l'utilisation éventuelle d'écrans afin d'éviter tout contact avec des parties actives lorsque la porte est ouverte.

□ Degrés de protection (IP)

Les normes CEI 60529 (1989-11), ou NF C 20-010 (1992-10) définissent les différents degrés de protection des personnes (contre les contacts directs) et du matériel (cf. **fig. 2**) au moyen de deux chiffres et de deux lettres. La résistance aux chocs qui était caractérisée par le 3<sup>ème</sup> chiffre de l'IP s'exprime maintenant par un indice séparé IKx selon la norme européenne EN 50102 (1995), ou française NF C 20-015 (1995-06).

□ Adaptabilité

L'enveloppe doit être adaptée aux volumes de l'appareillage à loger ainsi qu'au gabarit des locaux et des voies d'accès. L'association d'unités fonctionnelles permet d'obtenir les tableaux désirés.

Selon le cas, les raccordements se font par le haut ou le bas, l'avant ou l'arrière.

■ Les cloisonnements internes

Pour une sûreté accrue, les cellules peuvent être divisées par des cloisons et des écrans (métalliques ou non).

Les matériels sont installés et câblés dans le tableau de telle sorte que leur bon

Elément	Chiffre ou lettre	Signification pour la protection du matériel	Signification pour la protection des personnes
Premier chiffre caractéristique	0	Contre la pénétration de corps solides étrangers : (non protégé)	Contre l'accès aux parties dangereuses avec : (non protégé)
	1	de diamètre $\geq$ 50 mm	dos de la main
	2	de diamètre $\geq$ 12,5 mm	doigt
	3	de diamètre $\geq$ 2,5 mm	outil
	4	de diamètre $\geq$ 1,0 mm	fil
	5	protégé contre la poussière	fil
	6	étanche à la poussière	fil
Deuxième chiffre caractéristique	0	Contre la pénétration de l'eau avec effets nuisibles : (non protégé)	-
	1	gouttes d'eau verticales	
	2	gouttes d'eau (15° d'inclinaison)	
	3	pluie	
	4	projection d'eau	
	5	projection à la lance	
	6	projection puissante à la lance	
	7	immersion temporaire	
	8	immersion prolongée	
Lettre additionnelle (en option)	A	-	Contre l'accès aux parties dangereuses avec : dos de la main
	B		doigt
	C		outil
	D		fil
Lettre supplémentaire (en option)	H	Information supplémentaire spécifique à : matériel à haute tension	-
	M	mouvement pendant l'essai à l'eau	
	S	stationnaire pendant l'essai à l'eau	
	W	intempéries	

Fig. 2 : les éléments définissant un degré de protection IP selon les normes CEI 60529 et NF C 20-010.

fonctionnement ne soit pas compromis par leurs influences mutuelles, par exemple champs électromagnétiques, vibrations ou arcs qui peuvent se produire. Le cloisonnement permet de s'affranchir de la majeure partie de ces influences, alors qu'une ventilation appropriée répond au problème thermique.

Les écrans et les cloisons contribuent aussi à :

- la protection contre les contacts avec des parties actives appartenant aux unités fonctionnelles adjacentes,
- la limitation du risque d'amorçage,
- la protection contre le passage de corps solides d'une unité fonctionnelle à une autre.

Les niveaux de sûreté correspondants sont mesurés dans la suite de ce document.

Ces cloisonnements sont souvent liés à l'architecture du tableau et délimitent ainsi les différentes zones : appareillages, jeu de barres, raccordement et auxiliaires.

Cette séparation des différents éléments ou fonctions du tableau (cf. **fig. 3**) est définie dans les normes CEI 60439-1 (1992-11) ou NF C 63-421 (1994-10).

- Forme 1 : aucune séparation,
- Forme 2 : séparation du jeu de barres des unités fonctionnelles,
- Forme 3 : idem forme 2, mais avec séparation des unités fonctionnelles entre elles, mais non les bornes de départ,
- Forme 4 : idem forme 3 avec séparation des bornes de départ entre elles.

Nota : chacune des formes 2, 3 et 4 est subdivisée en deux, avec des indices a et b.

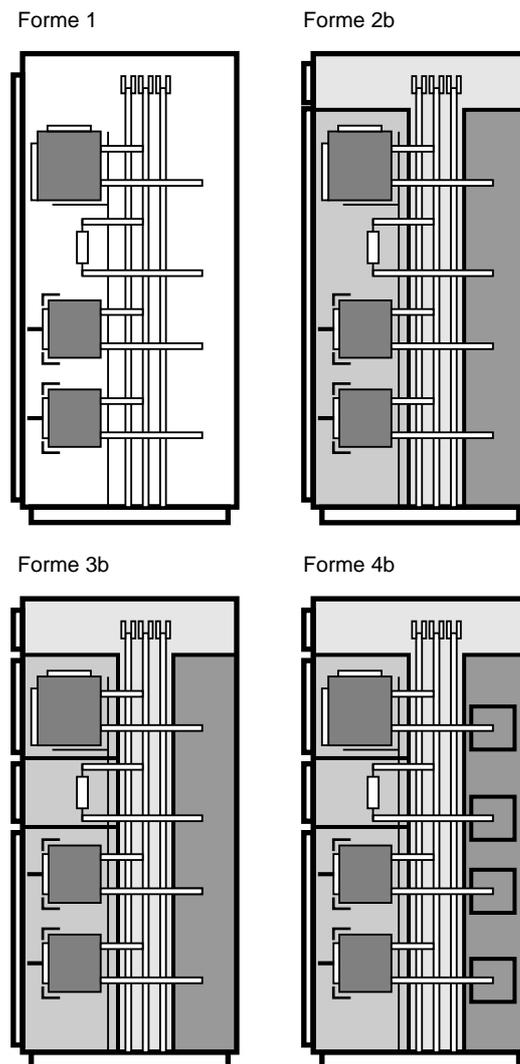
■ Les liaisons électriques internes

Constituées par des conducteurs (jeux de barres et câbles) au sein de l'enveloppe, elles matérialisent la distribution du courant conformément au schéma de l'installation.

□ Leurs sections et leur nombre varient en fonction des courants nominaux. Mais leurs caractéristiques dépendent aussi d'autres paramètres à prendre en compte pour leur réalisation, tel le courant assigné de tenue au court-circuit d'un tableau qui est égal à la valeur efficace du courant que peut supporter le tableau pendant une seconde (cf. norme CEI 60439-1).

□ Leurs supports doivent eux aussi « tenir » les efforts électrodynamiques correspondants et résister aux contraintes thermiques. Il faut de plus qu'ils respectent les longueurs minimales de lignes de fuites.

□ En ce qui concerne les circuits de commande, leur coexistence avec le circuit de puissance se fait en ménageant des zones de passage spécifiques et en employant une connectique appropriée. De même, les auxiliaires (à partir du choix d'une forme 3) sont isolés des autres unités ; ils sont donc soumis à un environnement moins contraignant sur le plan thermique et électromagnétique.



**Fig. 3 :** les « formes » définies par les normes CEI 60439-1, EN 60439-1 et NF C 63-421 délimitent les différentes zones dans un tableau.

■ Les raccordements de l'appareillage

Cette fonction de base a une influence sur la disponibilité et la maintenabilité. Deux facteurs qui dépendent du mode d'installation de l'appareillage : **fixe, débrochable ou déconnectable**.

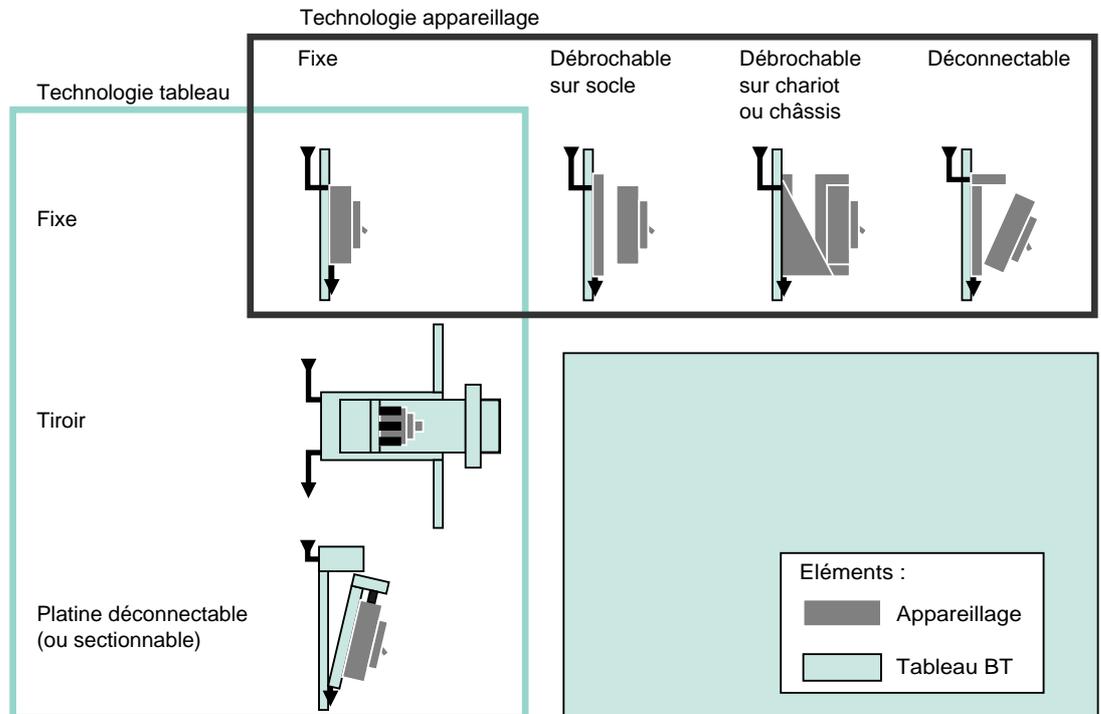
Rappelons que :

- un appareil est dit fixe lorsque des outils sont nécessaires pour le déconnecter du réseau,
- un appareil débrochable sur socle, ou sur châssis (pour un appareil lourd), peut être déplacé jusqu'à une position pour laquelle est établie une distance de sectionnement entre ses éléments de connexion amont et aval,
- un appareil déconnectable a son raccordement amont débrochable et son raccordement aval fixe.

De même, ces modes d'installation sont liés à la technologie des tableaux qui peut être fixe, débrochable (à tiroirs) ou déconnectable (cf. **fig. 4**).

Un exemple : un équipement débrochable peut être réalisé soit avec un tableau à tiroirs

comportant des appareils fixes, soit avec un tableau fixe comportant des appareils débrochables (sur socle ou sur châssis).



**Fig. 4** : les différents montages possibles de l'appareillage dans un tableau BT.

## 2.2 La garantie fonctionnelle du tableau

La conception d'un tableau se réfère à des **normes** régissant globalement le domaine de la basse tension, et plus spécifiquement à des normes relatives aux ensembles (armoires, pupitres...). Le respect de ces normes est la garantie minimale d'un niveau de qualité et de sûreté.

Les normes CEI 60439-1, EN 60439-1 et NF C 63-421 définissent les dispositions constructives, les caractéristiques techniques et les essais à effectuer pour la conception et les réalisations d'ensembles dits « types » :

- les équipements fabriqués conformément aux types sont appelés « Ensemble de Série » - ES -,
- les équipements qui en dérivent (par exemple par le calcul) sont appelés « Ensembles Dérivés de Série » - EDS -.

Un point sur les normes est fait dans le Cahier Technique n° 145 qui traite des études thermiques des tableaux électriques BT.

La maîtrise des **transferts thermiques** au sein d'un tableau permet d'avoir l'assurance de ne pas atteindre les températures limites des

matériels installés. Ce problème est résolu par une amélioration de la ventilation et éventuellement par un choix technique de l'appareillage. Le problème étant traité, la fiabilité reste à son niveau nominal.

Ces études thermiques font d'ailleurs partie d'un ensemble de travaux, actuellement conduits par les services techniques Merlin Gerin, destinés à maîtriser les caractéristiques techniques des tableaux BT, notamment sur les sujets suivants :

- **les connexions de puissance** (définition d'un certain nombre de paramètres en fonction des courants),
- **les tenues mécaniques et thermiques au court-circuit** évoquées précédemment (voir Cahiers Techniques n°158 et n°162),
- **l'installation du contrôle-commande** (au moyen d'études et d'essais),
- **la sûreté** des réseaux basse tension au travers des tableaux (voir Cahier Technique n°184).

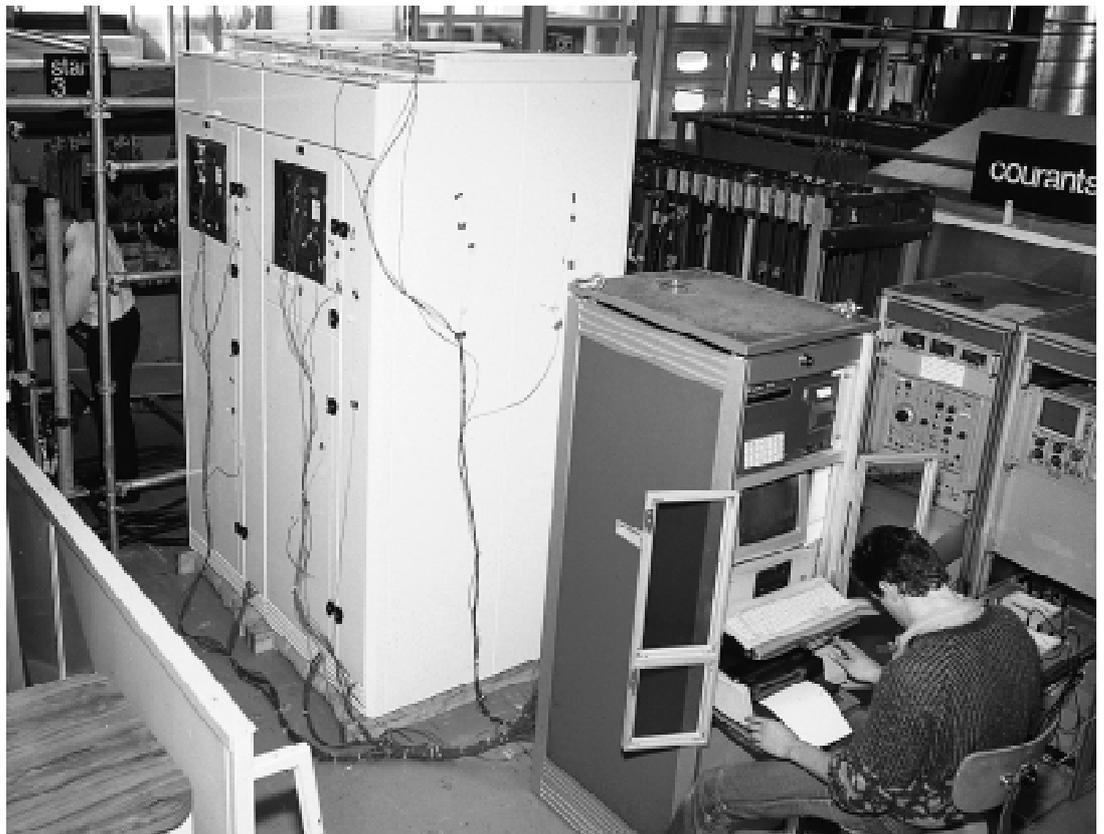
Outre ces différents travaux, pour valider la théorie, et garantir le fonctionnement de

l'ensemble réalisé, les tableaux sont soumis à de nombreux essais, (cf. normes précitées) :

- vérification des limites d'échauffement,
- vérification des propriétés diélectriques,
- tenue aux courts-circuits,
- continuité du circuit de protection,
- distances d'isolement et lignes de fuites,

- fonctionnement mécanique,
- degré de protection.

De même, pour satisfaire aux besoins, ainsi qu'à la permanence du niveau de qualité souhaité, l'étude, l'industrialisation et la fabrication des tableaux BT doivent se faire dans le respect de directives, méthodologies et contrôles Qualité (cf. **fig. 5**).



**Fig. 5** : un équipement BT en cours d'essais « ...pour satisfaire aux besoins, ainsi qu'à la permanence du niveau de qualité souhaité » (service équipements BT, Merlin Gerin).

## 3 Un niveau de sûreté fonction du besoin

La diminution de l'occurrence des pannes et des temps d'interruptions améliore la productivité des entreprises.

De plus, les utilisateurs réclament aujourd'hui « un niveau de sûreté sur mesure », en fait une installation adaptée à leurs besoins. Ces besoins peuvent se décliner en terme de disponibilité, de

fiabilité, de sécurité, de maintenabilité. La notion d'optimisation est capitale, il s'agit de répondre au juste niveau exigé et au meilleur prix. Pour rendre possible cette adéquation, les constructeurs, les installateurs et les prescripteurs se doivent de maîtriser les paramètres de sûreté de fonctionnement d'une installation.

### 3.1 Les caractéristiques de la sûreté de fonctionnement

■ Les grandeurs de la sûreté de fonctionnement  
Les notions de sûreté de fonctionnement (la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité) ne sont pas indépendantes (cf. schéma **figure 6**).

□ La **fiabilité** est l'aptitude d'un système à fonctionner correctement le plus longtemps possible.

Le **MTTF** (Mean Time To Failure) temps moyen de bon fonctionnement avant la première défaillance est un moyen de caractériser la fiabilité.

□ La **disponibilité** est le pourcentage de temps pendant lequel le système fonctionne correctement. Le **MTBF** (Mean Time Between Failure) temps moyen entre deux défaillances d'un système réparable est un moyen de caractériser la disponibilité.

□ La **maintenabilité** est l'aptitude d'un système à être réparé rapidement. Le **MTTR** (Mean Time To Repair) la durée moyenne de réparation est un moyen de caractériser la maintenabilité.

□ La **sécurité** est l'aptitude d'un système à ne pas mettre les personnes en danger.

■ La sûreté de fonctionnement appliquée aux ensembles

Une étude de sûreté comporte les 4 étapes suivantes (cf. **figure 7**) :

□ expression et analyse du besoin

Recherche des critères de sûreté représentatifs des préoccupations du client (disponibilité,

sécurité...), des points du réseau où ces critères seront analysés (points stratégiques du réseau). (voir Cahiers Techniques n°144 et n°184) ;

□ analyse fonctionnelle

Description du rôle du réseau et de ses éléments constitutifs ;

□ analyses dysfonctionnelles :

- recherche des modes de défaillance de chacun des éléments constitutifs du réseau et de leurs conséquences sur le système (analyse des modes de défaillances),

- modélisation des dysfonctionnements du système.

Un modèle est une représentation graphique des combinaisons des défaillances possibles du système qui conduisent aux dysfonctionnements auxquels on s'intéresse ;

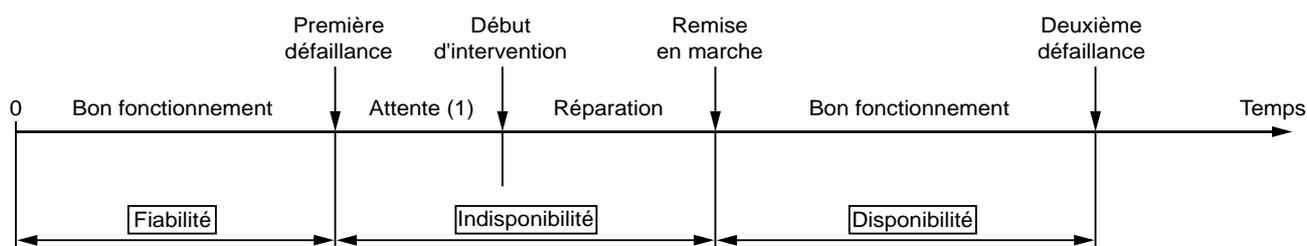
□ analyse de l'architecture au travers d'une analyse qualitative et/ou quantitative :

- recherche des points faibles du réseau,

- recherche de l'impact de la politique de maintenance sur ses performances,

- étude du compromis coût performances par comparaisons d'architecture, de politiques de maintenance.

Deux types d'analyses peuvent être réalisées, en fonction des attentes du client, des données d'entrées disponibles (voir Cahier Technique n°184) :



(1) : temps de détection de la panne, puis temps de préparation de l'intervention.

Fig. 6 : notions de fiabilité et de disponibilité.

- étude rapide ou préétude, c'est une étude pessimiste qui permet de faire rapidement des choix techniques, de comparer des architectures,  
 - étude détaillée, c'est une étude qui permet d'obtenir des quantifications, moins pessimistes, proches des performances réelles du réseau analysé.

■ Exemple d'analyse quantitative d'une architecture

□ Ce qui est primordial pour l'installation considérée est la disponibilité de l'énergie électrique de l'utilisation U3 de la **figure 8**.

□ Les analyses dysfonctionnelles nous ont conduit à l'élaboration d'un arbre de défaillance,

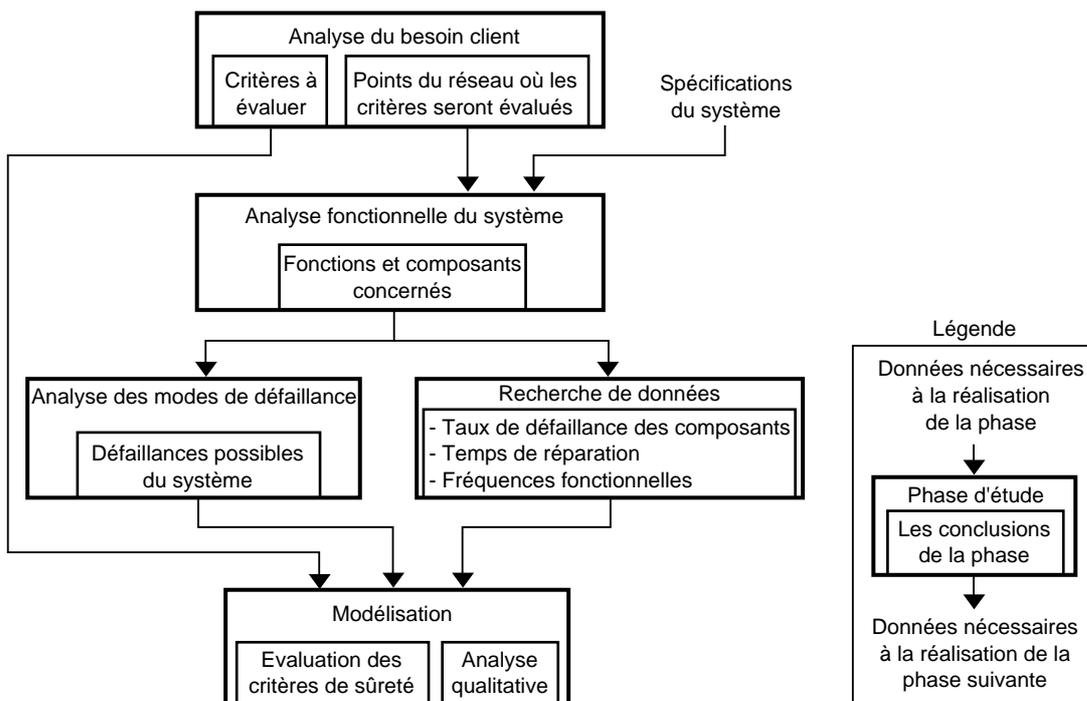


Fig. 7 : phases chronologiques de réalisation d'une étude de sûreté de fonctionnement.

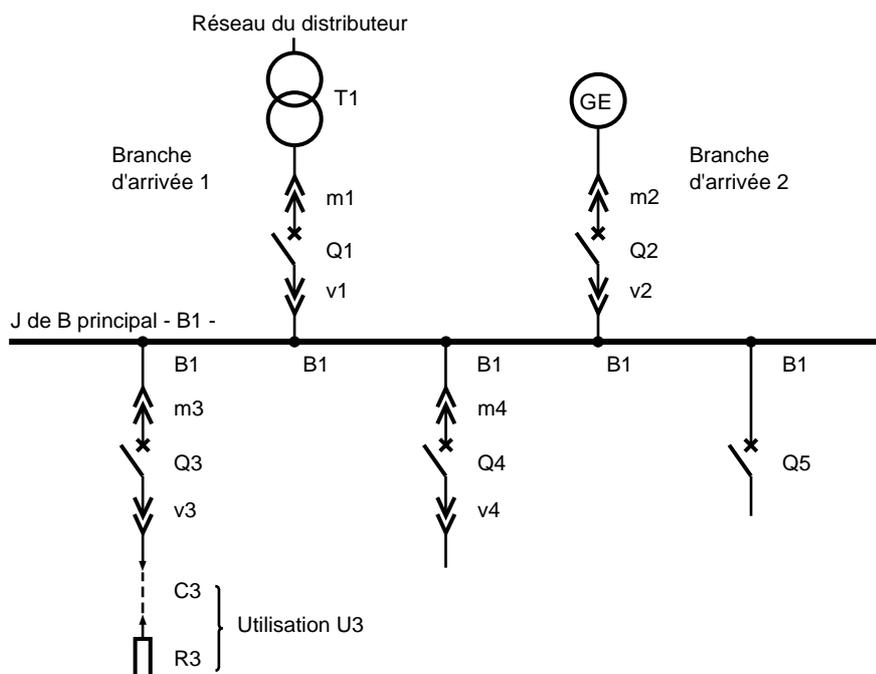


Fig. 8 : exemple de réseau de distribution électrique.

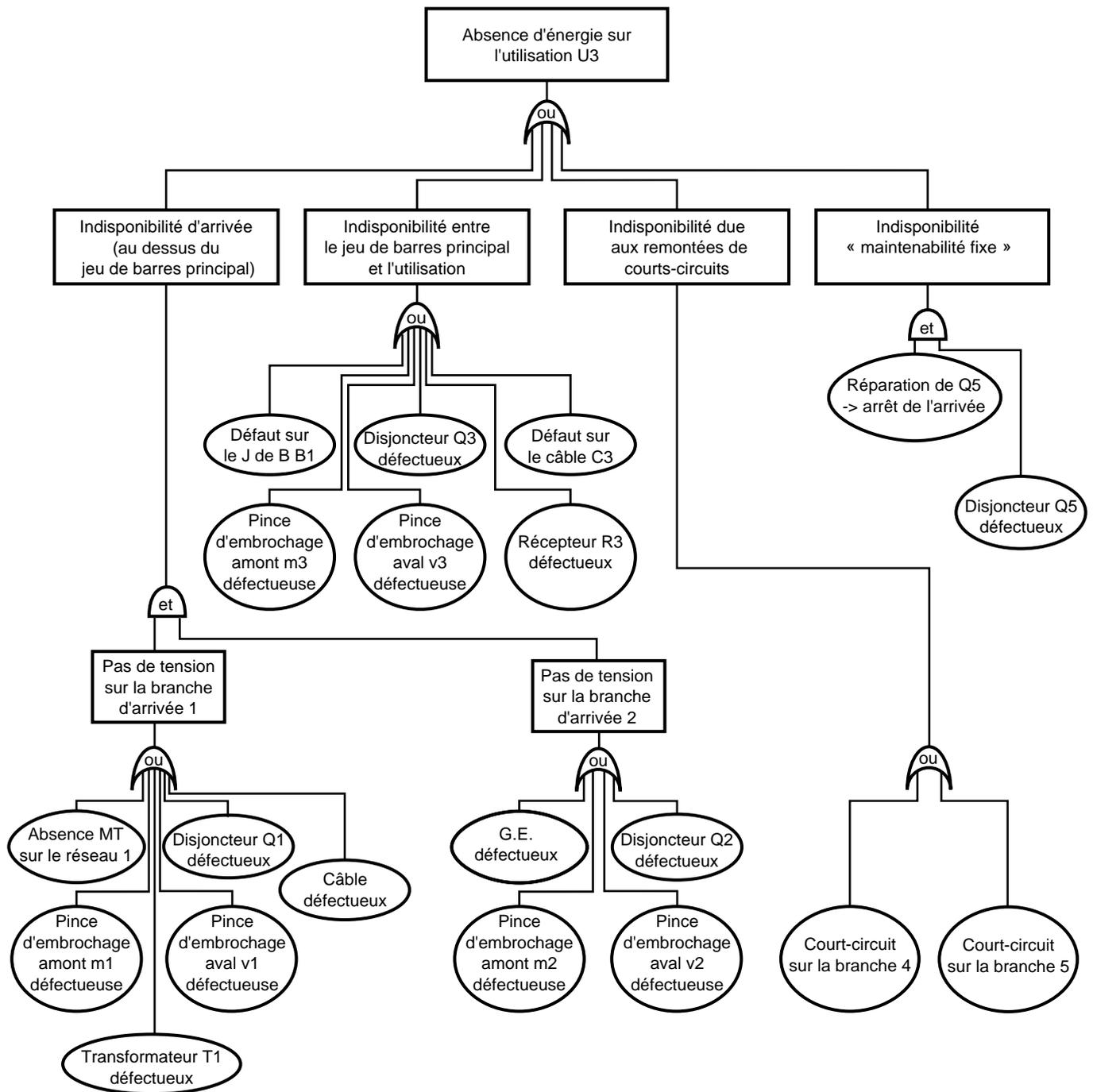


Fig. 9 : arbre de défaillance associé au schéma de la figure 8.

représentation graphique des défaillances qui conduisent à l'événement indésirable, absence d'énergie sur U3 (cf. **figure 9**).

Les défaillances qui conduisent à l'événement indésirable peuvent être classées en quatre groupes :

- indisponibilité d'arrivée

Chaque arrivée peut alimenter seule l'ensemble du réseau BT dont l'utilisation dépend. Le groupe électrogène est là pour suppléer aux pertes du réseau du distributeur ;

- indisponibilité entre le jeu de barre principal B1 et l'utilisation. Elle somme les indisponibilités des éléments rencontrés sur la ligne amont, depuis le jeu de barre principal jusqu'au point U1 ;

- indisponibilité due aux remontées de court-circuit. On appelle remontée de court-circuit, tout court-circuit se produisant sur un départ parallèle au départ considéré et dont l'interruption se faisant au niveau supérieur de ces départs conduit à leurs mises hors tension ;

Il faut donc additionner toutes les probabilités de court-circuit en descendant sur chaque départ parallèle, jusqu'au premier organe de protection. En aval, une remontée de court-circuit n'est possible que s'il y a cumul d'un court-circuit et non réaction de protection, ce qui correspond à une probabilité négligeable.

- indisponibilité « maintenabilité fixe »

La maintenabilité fixe est le terme employé pour signifier que le temps de réparation dépend du mode d'installation (fixe ou débrochable) et influence l'exploitation des autres départs.

Exemple (cf. **fig.8**) : l'utilisation de U3 est gênée par la réparation de Q5 qui monté en fixe nécessite l'arrêt de l'alimentation d'arrivée, alors que la réparation de Q4, débrochable, peut se faire J de B sous tension; donc sans répercussion sur l'utilisation de U3.

### Les résultats

Les résultats présentés ci-dessous sont ceux qui correspondent à des valeurs habituellement rencontrées de fiabilité et de MTTR pour tous les éléments du réseau.

Les résultats sont présentés sous forme de part d'indisponibilité de chacun des quatre groupes de défaillances définies ci-dessus.

- Arrivée	49%
- Entre JdB et utilisation	44%
- Remontée de court circuit	1%
- Maintenabilité fixe	6%

La politique de maintenance influence aussi les performances du système, ainsi si en moyenne le temps de remise en fonctionnement suite à une panne passe de 48 heures à 24 heures, alors le nombre d'heures d'indisponibilité par an en U3 est divisé par deux.

De cette analyse se dégage les différents points qui peuvent être pris en compte lors d'une analyse quantitative.

Le chapitre suivant traite les points déterminés précédemment ainsi que ceux qui sont classiquement analysés de manière qualitative.

## 3.2 Les concepts de sûreté industrielle

Une conception de réseau doit répondre aux exigences spécifiques du client. Dans tout système, il suffit souvent d'un élément faible pour que la sûreté de l'ensemble soit remise en cause.

Ainsi pour ne pas se retrouver au volant d'une formule 1 à « pédales », il est souhaitable de mesurer l'importance de divers choix techniques en ce qui concerne la sûreté et :

- le schéma (arrivée, utilisation terminale, schéma de liaison à la terre),
- les connexions,
- les arcs électriques,
- les « options tableau » (forme, raccordement, appareillage fixe ou débrochable, IP...),

- les départs moteur en tiroir,
- les auxiliaires de contrôle commande.

### La sûreté par le schéma

L'élément le plus prépondérant pour le tracé d'un réseau électrique est le schéma d'arrivée.

D'autres éléments viennent en deuxième position tels que les utilisations terminales, le nombre de disjoncteurs en maintenabilité fixe, le schéma de liaison du neutre à la terre.

#### ■ Le schéma d'arrivée

La disponibilité de l'arrivée se répercute sur toutes les utilisations, critiques ou non, il s'avère important dans la mesure du possible, de retenir

une configuration d'arrivée cohérente avec le besoin aval (cf. **fig 10**).

La solution retenue dépendra de l'environnement étudié. Par exemple :

- dans certaines régions il est possible d'obtenir deux arrivées moyenne tension prises sur deux postes différents. Ceci réduit le mode commun dû à l'indisponibilité de la HT ;
- en région isolée cette solution peut être non envisageable, dans ce cas il peut être proposé une production autonome tel un secours par groupe électrogène ;
- certains secteurs industriels (chimie, pétrochimie, papeterie...) de part leur fabrication disposent d'énergie (souvent sous forme de vapeur) qu'ils exploitent pour entraîner des groupes turbo-alternateurs. Le réseau de distribution public est alors utilisé en soutien.

**Nota** : dans le cas où l'arrivée considérée ne peut supporter les coupures brèves, le recours à des ASI peut s'avérer indispensable. Mais il ne faut pas oublier que ce type d'appareil est limité par l'autonomie de sa batterie, en général 15 minutes.

□ Partage en départ prioritaire et non prioritaire

La recherche d'une bonne disponibilité de l'énergie conduit presque toujours, suivant l'importance de l'exploitation, à scinder les utilisations en deux types :

- les prioritaires,
- les non prioritaires.

En cas de surcharge ou de défaillance de la source principale, les non prioritaires sont alors délestés et les prioritaires conservent leur

puissance utile à partir d'une source secondaire (deuxième arrivée MT, groupe électrogène,...).

□ Dispositifs de basculement

En cas de défaillance, le basculement peut se faire sur des sources de réserves non utilisées en marche normale, ou sur les sources des départs non prioritaires, avec délestage de ces derniers.

Ainsi, trois types de permutations sont envisageables (voir Cahier Technique n° 161) :

- synchrone

La source principale et la source de remplacement sont ou ont la possibilité de devenir synchrones, ce qui permet de réaliser un basculement, sans rupture d'alimentation des récepteurs. Ce procédé est utilisé dans les installations à haut niveau de sûreté ;

- à temps mort

C'est le type de permutation le plus répandu. Avec des durées de permutations qui varient de 0,4 à 30 secondes, il est très utilisé dans l'industrie et le tertiaire ;

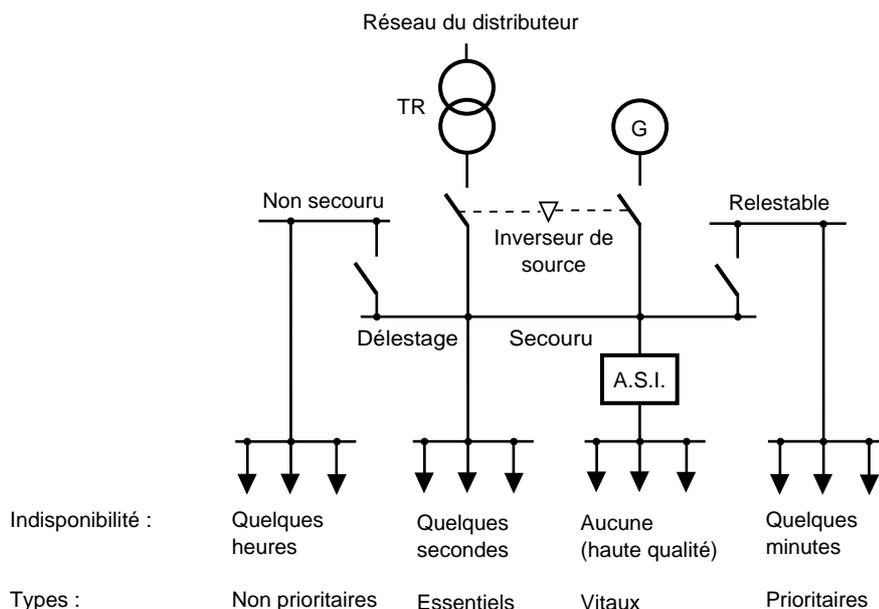
- pseudo-synchrone

Un dispositif de permutation rapide (60 à 300 ms) est mis en œuvre, par exemple, dans les secteurs suivants :

- la chimie,
- la pétrochimie,
- les centrales thermiques.

■ L'utilisation terminale

Dans le cas du réseau pris en exemple (cf. **figure 8**) l'indisponibilité due à l'utilisation terminale est de 5% (cf. **figure 11a**). Suivant les caractéristiques des récepteurs employés la part d'indisponibilité qui leur incombe peut varier de 5% à 70%.



**Fig. 10** : schéma simplifié d'un réseau.

Il faut donc bien définir les caractéristiques techniques des récepteurs vis-à-vis des conditions d'emploi, ainsi que les procédures de maintenance destinées à prévenir toute défaillance.

La plupart des défauts électriques des moteurs sont dus à des défauts phase/masse qui apparaissent au moment du démarrage moteur. Le contrôle de l'isolement d'un moteur à l'arrêt, notamment avec le VigiloHM SM 21 Merlin Gerin, permet :

- de programmer une maintenance préventive,
- d'éviter une détérioration irréversible du moteur.

■ Les schémas de liaison du neutre à la terre (voir également les Cahiers Techniques n°172 et n°173) Les trois schémas de liaison du neutre à la terre sont :

- le schéma de liaison TT (neutre à la terre et conducteurs de protection électrique à la terre),
- le schéma de liaison TN (neutre à la terre et conducteurs de protection électrique au neutre),
- le schéma de liaison IT (neutre isolé et conducteurs de protection électrique à la terre).

Le schéma de liaison du neutre à la terre a une influence sur la disponibilité, et sur la maintenabilité du fait de la coupure ou non du circuit au

premier défaut (dans le cas de schémas TN et TT). De plus, le courant de défaut à la terre dépend de ce schéma de liaison et il conditionne l'ampleur des dommages portés à l'installation et surtout aux récepteurs (cf. fig. 12).

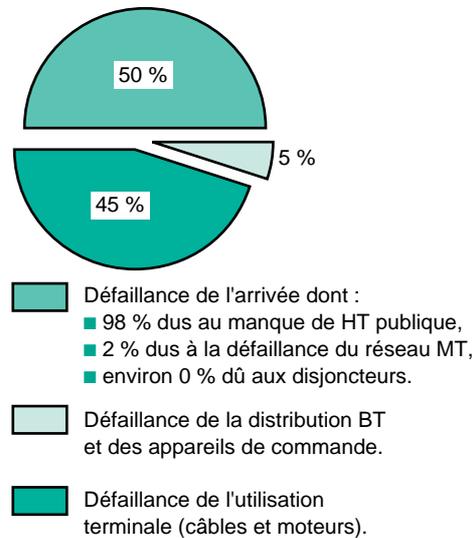
Les résultats d'une étude de fiabilité sont présentés sur l'histogramme de la figure 11b. Le schéma de liaison IT, avec un dispositif de recherche rapide (automatique) du premier défaut, est celui qui offre la meilleure disponibilité, car il permet :

- de ne pas interrompre l'exploitation (continuité du cycle de production en cours),
- la réparation du défaut pendant une phase de non fonctionnement,
- la préparation de l'intervention de dépannage pendant la production d'où un gain de maintenabilité.

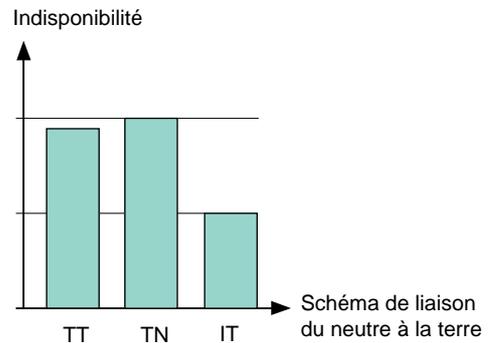
Par ailleurs, le schéma de liaison IT est à conseiller dans les cas suivants :

- présence de récepteurs sensibles aux courants de défauts importants,
- risques d'incendie importants,
- utilisation de groupe de secours (pour éviter la détérioration de l'alternateur par un défaut interne),

a) Répartition de l'indisponibilité sur un départ



b) Indisponibilité sur un départ en fonction du schéma de liaison du neutre à la terre



N.B. : en régime IT, l'indisponibilité est calculée en considérant la réparation obligatoire au premier défaut.

Fig. 11 : l'indisponibilité d'une arrivée peut représenter une large part de l'indisponibilité totale, ici 50%.

Schéma	TT	TN	IT
Action lors d'un défaut d'isolement	Mise hors tension immédiate	Mise hors tension immédiate	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Poursuite de l'exploitation</li> <li>■ Recherche du défaut</li> <li>■ Préparation avant mise hors tension</li> </ul>
Importance du courant de défaut (conditionne les dégâts à l'installation)	Quelques dizaines d'ampères	Plusieurs kiloampères (courant de court-circuit)	Quelques dizaines de milliampères (1 <sup>er</sup> défaut)

Fig. 12 : le choix du schéma de liaison du neutre à la terre affecte directement la sûreté et la fiabilité de l'installation.

□ nécessité d'un haut niveau de sûreté (disponibilité + sécurité), exemple : en salle d'opération en milieu médical où il est même obligatoire.

**Nota** : en schéma de liaison IT, la probabilité de mise hors tension, consécutive à un deuxième défaut (s'il se produit pendant le temps de la recherche et de la suppression du premier défaut), est plus faible qu'en schéma de liaison TN ou TT puisqu'il faut la présence simultanée du premier et du deuxième défauts, sur des phases différentes.

Il a été vu précédemment que l'étude du schéma de liaison est importante. Ce dernier étant figé, il reste à choisir les matériels (tableau et appareillage), ceci en recherchant une certaine homogénéité dans les fiabilités des différents maillons qui composent l'indisponibilité finale.

### La sûreté et les connexions

Un tableau étant constitué d'un grand nombre de connexions, il est important de s'intéresser aux défaillances qu'elles entraînent.

Il y a défaillance d'une connexion lorsqu'elle ne véhicule plus l'énergie électrique pour laquelle elle a été dimensionnée. Dans ce cas, il se produit un échauffement local qui peut provoquer la destruction de l'appareil et/ou des câbles.

L'importance de bien maîtriser les problèmes de connexions, est illustrée par la **figure 13**. La majorité des causes d'indisponibilité est due à des défaillances diverses (arrivée, appareillage,...). La part due aux connexions n'est pas négligeable.

Il convient de distinguer les connexions réalisées en usine de celles réalisées sur site, ces dernières étant statistiquement les plus défaillantes.

Dans la pratique, il s'avère que la sûreté peut être notablement améliorée par :

□ des surfaces de contact bien dimensionnées (recouvrement),

□ un état soigné de ces surfaces (planéité, propreté),

□ un couple de serrage adapté aux matériaux.

### La sûreté et les arcs électriques

#### ■ Indisponibilité due aux arcs

De multiples causes peuvent engendrer la création d'arcs dans le tableau, par exemple l'intrusion de petits animaux (rongeurs, voire reptiles), l'introduction d'objets oubliés lors de travaux de maintenance, un échauffement qui dégénère, ou bien encore des dépôts de poussières conductrices. Les dégâts, dus aux arcs électriques, sont souvent importants. Ils entraînent des temps d'arrêt pouvant atteindre quelques centaines d'heures pour un tableau « ordinaire ». Alors que pour un tableau « amélioré », ce pourcentage devient négligeable puisque ces arrêts sont limités au seul temps de remise en ordre de la distribution (serrage de câbles, nettoyage des surfaces carbonisées...), soit environ une heure. Pour éviter une telle indisponibilité, il convient d'agir sur les trois points suivants :

□ les risques d'apparition d'arc,

□ la durée de l'arc,

□ la propagation des arcs électriques dans le tableau.

Outre que ces actions conduisent à réduire les temps de réparation, elles visent aussi à diminuer l'importance des dégâts dus aux arcs.

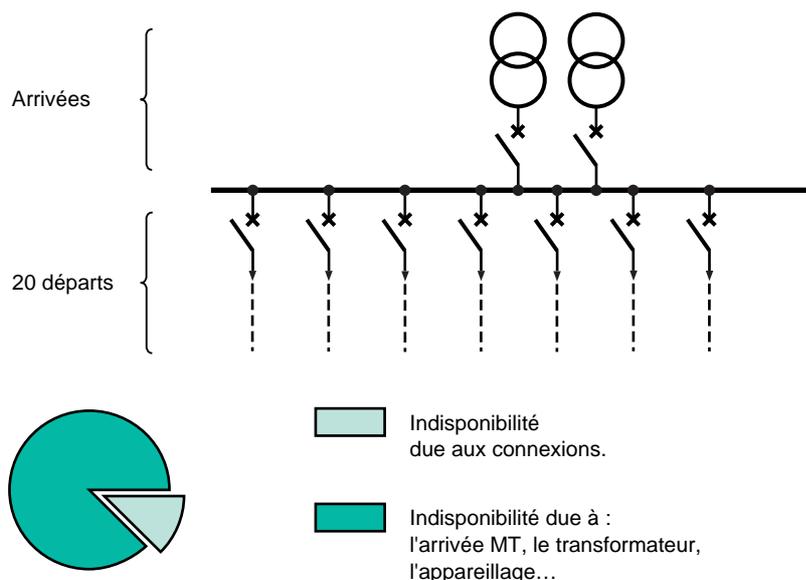
#### ■ Eviter l'apparition d'arcs électriques

Mieux vaut prévenir que guérir, et donc agir sur la cause de création d'arcs électriques, ainsi :

□ les amorçages par claquage diélectrique n'existent pas si :

- les matériaux sont bien choisis,

- les lignes de fuites et les distances d'isolement sont respectées ;



**Fig. 13** : les indisponibilités dues aux connexions représentent une part non négligeable des causes d'indisponibilité du système.

□ l'introduction d'objets, ou corps étrangers, dont les poussières conductrices, et l'intrusion de petits animaux sont à l'origine de nombreux arcs électriques dans les armoires BT. Pour les éviter les enveloppes doivent être bien pensées :

- étude de forme,
- choix de l'IP,
- adjonction de filtre...

□ lors de la coupure (cas d'un court-circuit ou d'une surcharge), des gaz ionisés sous pression s'échappent de l'appareil de protection. Ils peuvent provoquer un amorçage par exemple sur un jeu de barres se trouvant à proximité. Ce risque est supprimé par une architecture bien pensée et/ou des écrans judicieusement disposés ;

□ une connexion défectueuse peut conduire souvent à la création d'un arc. Pour l'éviter, les connexions doivent être notamment correctement serrées (cf. § « la sûreté et les connexions »).

■ Limiter la durée de l'arc

Il convient de réduire au maximum le temps de l'arc afin de limiter les dégâts qu'il occasionne. Pour cela différentes solutions peuvent être retenues.

□ Régler au retard minimum les « courts retards » (protection contre les courts-circuits), tout en permettant la sélectivité. Car ces temps dits de « court retard », destinés à réaliser une sélectivité chronométrique, temporisent le déclenchement des disjoncteurs sur court-circuit et ainsi prolongent la vie de l'arc.

A noter que lorsque la sélectivité logique peut être mise en œuvre, elle est la meilleure solution

puisqu'elle permet une sélectivité absolue avec des retards minimaux quel que soit l'étage de la distribution.

□ Employer des appareils limiteurs.

Ces appareils coupent très vite les courants de court-circuit. Ils limitent ainsi le courant de défaut. Cela a pour effet de réduire la durée de l'arc et donc de limiter les effets thermiques.

□ Choisir une protection à temps de « retombée » important (l'appareil garde en mémoire les défauts furtifs).

L'arc a la particularité d'être un défaut fugitif, pour deux raisons :

- de par les dispositions mises en œuvre dans le tableau, un arc peut rapidement s'éteindre. Mais, les gaz ionisés qu'il a générés peuvent amener des réamorçages sur d'autres parties sous tension. Plusieurs séquences d'extinction et de réamorçage sont donc possibles ;

- par ailleurs, son impédance varie en fonction de sa vitesse de déplacement et des obstacles qu'il rencontre.

Cependant, à chaque apparition tout l'équipement subit différentes contraintes qui peuvent s'additionner.

La réponse au problème est dans des systèmes de protection qui intègrent le défaut dans le temps : lorsqu'un défaut apparaît puis disparaît (ou passe en dessous du seuil avant le déclenchement de l'appareil de protection), cette « information » en temps et en intensité doit être conservée au niveau de la protection pour obtenir un déclenchement si le défaut se répète, ou a de brèves valeurs de courant élevées. Ainsi un disjoncteur BT peut garder en mémoire le court-circuit, et ne se « réinitialiser » que progressivement (cf. **fig. 14**).



**Fig. 14** : un disjoncteur Masterpact de type « ouvert » équipé d'une unité de contrôle STR68 conserve momentanément en mémoire les courts-circuits.

■ Empêcher la propagation dans le tableau  
Les lois de la physique font que l'arc s'éloigne de la source et se déplace rapidement. Afin de réduire les conséquences au niveau de l'exploitation, l'arc ne doit pas s'étendre à tout le tableau. Il convient de maîtriser l'arc pendant toute sa durée de vie en :

□ cloisonnant fortement les différentes zones du tableau ; cloisons et traversées isolantes évitent à l'arc de se propager, de lui-même ou par ses gaz ionisés ;

□ créant des pièges à arcs rendant possible son extinction tels que :

- des matériaux isolants qui englobent le jeu de barres,
- des géométries de jeu de barres qui allongent l'arc.

#### La sûreté et les « options » tableau

La forme, le type de raccordement (par l'avant ou par l'arrière), le mode d'installation des appareils (fixe ou débrouvable), et le degré de protection sont autant d'options possibles dans la réalisation et/ou l'achat d'un tableau BT. Ces choix influencent la disponibilité de l'énergie électrique au niveau d'un départ.

Reprenons, en effet, les formes évoquées en début de ce Cahier Technique (cf. **fig. 3**).

Comparons la forme 1, « ouvertures non bouchées » à une forme 2, « ouvertures d'accès des câbles bouchées ».

L'expression raccourcie « ouvertures d'accès des câbles bouchées », signifie que l'utilisateur a

pris soin de faire passer les câbles à travers une tôle de fond munie de passe-câbles.

**Nota** : cette disposition est prise dans l'emploi d'une forme au moins égale à la forme 2.

Par cet exemple, il est aisé de comprendre qu'un choix judicieux de la forme améliore la disponibilité, car il affecte :

- la probabilité d'apparition de défaut (intrusion de rongeurs impossible),
- la propagation d'arc (présence d'un cloisonnement).

Pour une bonne disponibilité, il est donc intéressant de prévoir un cloisonnement des tableaux BT (forme 3) et encore plus au niveau des connexions des câbles extérieurs (forme 4) puisque, comme vu précédemment, elles sont à l'origine de la plupart des défauts (cf. § « la sûreté et les connexions »).

#### ■ Raccordement avant ou arrière

La place réservée aux équipements électriques lors de la conception des locaux, conditionne bien souvent le type de raccordement du tableau à réaliser. Cette contrainte n'est pas sans influence sur la disponibilité.

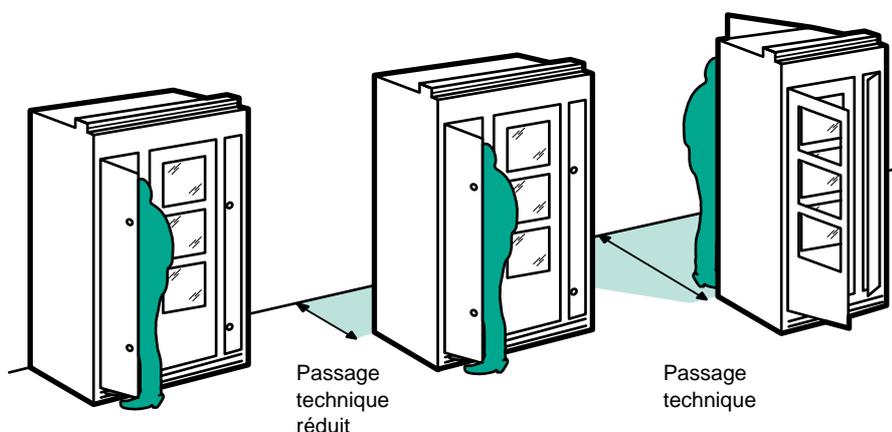
Un tableau à raccordement avant est souvent difficilement accessible. Cela entraînant des temps de réparation importants en comparaison à la double accessibilité obtenue avec un raccordement arrière (cf. **fig.15**).

A noter que l'indisponibilité d'un tableau à raccordement avant est d'autant plus importante que les appareils sont montés « en

a) Tableau à raccordement avant, tableau accolé au mur

b) Tableau à raccordement avant avec passage technique réduit

c) Tableau à raccordement arrière avec l'indispensable passage technique



**Fig. 15** : un bon compromis, niveau de maintenabilité/surface occupée, peut être obtenu avec un tableau à raccordement par l'avant en prévoyant derrière un passage technique réduit.

fixe » et nécessitent un outillage pour être démontés.

Pour améliorer la maintenabilité d'un tableau à raccordement avant, prévu pour être adossé à un mur, il convient de prévoir un passage technique réduit à l'arrière.

■ Fixe ou débrochable

La disponibilité peut être améliorée par le choix d'un appareil débrochable. Outre le fait que sa maintenance est plus rapide, il faut aussi considérer qu'elle n'influence pas les départs voisins.

En effet, le débrochage se fait hors charge (circuit ouvert), mais sous tension, il n'est donc pas nécessaire de couper en amont et d'interrompre ainsi l'alimentation des autres départs qui lui sont parallèles.

Cependant, l'option débrochable peut ne pas présenter d'avantages, dans le cas où des indisponibilités sont prépondérantes (source insuffisamment fiable, câble d'alimentation unique et à risques,...) ou lorsqu'une maintenabilité très facile n'influence pas d'autres départs. Par contre dans le cas d'un tableau à raccordement avant de forme 2, l'intérêt d'utiliser des disjoncteurs « débrochables » est évident.

■ Degré de protection (cf. **fig. 2**)

Seuls les deux premiers chiffres caractéristiques de l'IP (pénétration des corps solides et des liquides) sont vus dans ce paragraphe.

Le premier chiffre indique la taille maximale des objets ou des particules susceptibles d'entrer dans le tableau et limite, de ce fait, la taille des accès aux parties sous tension. Ce chiffre (de 1 à 6) est d'autant plus élevé que la taille est petite.

Le deuxième chiffre concerne les liquides et indique un niveau d'étanchéité minimal obtenu par :

□ des auvents, casquettes, ou chicanes contre les projections verticales et/ou horizontales de liquides,

□ des joints et des dispositifs appropriés permettant d'aller jusqu'à une étanchéité totale pour des enveloppes pouvant être immergées.

En conclusion, plus les deux premiers chiffres caractéristiques de l'IP sont élevés, meilleure sera la protection.

Cependant tous les appareils électriques chauffent et la plupart ont une limite thermique. Aussi une étanchéité surabondante est contraire à une bonne ventilation du tableau. Elle peut donc être néfaste au bon fonctionnement de cet appareillage.

Ceci, à moins qu'il soit prévue une extraction de calories et/ou un choix approprié des appareils.

L'environnement plus ou moins contraignant et la qualification des intervenants sur le tableau fixent le choix du degré de protection. Les niveaux de protection requis, par type de locaux, sont rappelés par la **figure 16**.

Secteurs d'emploi	Exemples	Degré IP
Locaux (ou emplacements) domestiques	Chambre	20
	Salle d'eau (volume 0)	27
Locaux techniques	Service électrique	20
	Laveur de conditionnement d'air	24
	Chambre froide	25
Chaufferies et locaux annexes (puissance > 70 kW)	Soute à fuel	20
	Soute à charbon	60
	Chaufferie à charbon	61
Garages et parcs de stationnement (surface > 100 m <sup>2</sup> )	Atelier	21
	Zone de lavage	25
Bâtiments à usage collectif	Bureau	20
	Salle de sport	21
	Grande cuisine	25
Locaux (ou emplacements) dans les exploitations agricoles	Entrepôt d'alcool	23
	Poulailler	35
	Entrepôt fourrage	50
Etablissements industriels	Electrolyse	03
	Fabrication carton	33
	Carrière	55
Locaux commerciaux et annexes	Exposition-galerie d'art	20
	Droguerie (réserves)	33
	Boulangerie (terminal de cuisson)	50
	Ebénisterie-menuiserie	50

**Fig. 16** : exemples de degré de protection minimum (selon NF C 15-100 et guide pratique UTE C 15-103).

### La sûreté et le départ moteur en tiroir

Dans les industries à process, de nombreux tableaux MCC dits « à tiroirs débrochables » sont utilisés (cf. **fig. 17**).

Une bonne continuité d'exploitation est habituellement demandée dans le cas de la commande moteur. Le tiroir est la solution puisqu'il permet une maintenance aisée et rapide : un départ défectueux est remplacé immédiatement par un équipement identique, le tableau restant sous tension.

Un tiroir correspondant à un départ moteur peut être constitué d'une association fusibles - contacteur - relais thermique, ou d'une association disjoncteur - contacteur - relais thermique.

En terme de disponibilité ces deux configurations sont sensiblement équivalentes en fonctionnement normal, mais différent notablement en cas de défaillance du contacteur.

En effet, près de 20 % des pannes de ces départs sont dues aux contacteurs (contacts restant collés). Avec comme inconvénient supplémentaire l'extraction du tiroir du contacteur défaillant. Il est alors nécessaire d'ouvrir le circuit de puissance ; ce qui reste possible avec une association disjoncteur - contacteur, cela étant obtenue par l'ouverture du disjoncteur. Dans l'autre cas (association fusibles - contacteur) il faut interrompre la tension au niveau de l'interrupteur général... et tous les autres départs moteurs sont alors indisponibles.

### La sûreté et les auxiliaires de contrôle-commande

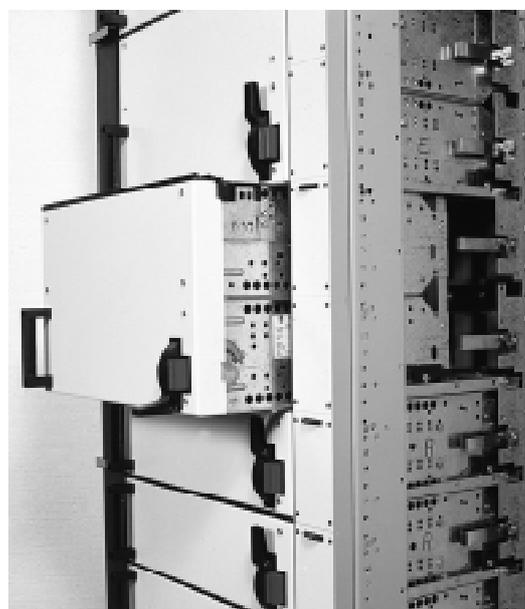
Les défaillances des auxiliaires de commande sont celles des relais, de la connectique, ou de leur alimentation.

La mise en œuvre du câblage fil à fil de ces auxiliaires est longue et soumise à des erreurs de la part des monteurs d'où des pannes potentielles.

Pour y remédier, Merlin Gerin a standardisé toute cette connectique au travers de produits (Digibloc, Digipact,...). Ce sont des cartes ou des modules de contrôle-commande reliés par des nappes de connexion ou par des liaisons numériques standardisées. Ces éléments centralisent des informations et permettent de réaliser différents schémas de commande. Les modifications de ces schémas sont simplement effectuées par paramétrage des cartes, ou par association de nouveaux modules.

De ce fait, plusieurs avantages sont obtenus :

- gain de temps lors de la mise en œuvre,
- meilleure fiabilité en supprimant les erreurs de câblage,
- temps de réparation réduit au temps de changement de la carte ou du module,
- facile évolution du système.



**Fig. 17** : vue de détail d'un tableau BT de type MCC à tiroirs (modèle MB400 - Merlin Gerin).

## 3.3 Les niveaux de sûreté requis

Pour la construction de réseaux BT, il est possible d'utiliser de nombreuses options techniques qui procurent des niveaux de sûreté différents. Mais lesquelles retenir ? Chacune d'elle a l'influence voulue quand elle se greffe sur l'échelon pour lequel elle a été définie.

A titre d'exemple l'emploi d'une forme 4 est très utile, à condition de s'être affranchi des défauts majeurs de l'installation.

La bonne réaction dans la conception d'un réseau BT ne sera donc pas de choisir et d'installer au hasard, une panoplie de matériels performants, fiables, convaincu que « au moins là on est tranquille ».

En fait chaque application ou domaine d'emploi de l'énergie électrique BT demande un niveau de sûreté adapté. Il dépend par exemple du secteur d'activité et des impératifs d'exploitation (cf. **fig.18**) :

- le tertiaire est constitué par les petits commerces, les écoles..., jusqu'aux grandes surfaces, grandes banques, immeubles de bureaux, grands hôpitaux,
- l'industrie regroupe notamment toutes les usines (automobile, aéronautique, textile,...) ; elle a des besoins de distribution (protection et architecture du réseau), et des besoins liés au

process (commande moteur, asservissement), le process étant très important dans les productions continues de la pétrochimie, les cimenteries, l'agro-alimentaire...

En quoi ces secteurs sont-ils représentatifs de besoins différents ?

Des accidents tels que BHOPAL (décembre 1984), TCHERNOBYL (avril 1986) et PASADENA (octobre 1989) ont montré les

risques considérables encourus par les hommes et l'environnement. D'où la fréquente question « est-ce sûr ? » .

En fait, cette question « est-ce sûr ? » n'a pas de sens. La défaillance ayant toujours une probabilité, aussi petite soit-elle, de se produire, la bonne question est donc : « est-ce assez sûr ? » .

Pour tous les secteurs cela se traduit par le choix d'un niveau acceptable de probabilité de

		Secteurs d'activité					
		Tertiaire		Industrie			
		Commerces	Hopitaux	Ateliers	Usines	Fabrications à process	
<b>Le problème à traiter :</b>							
Types de schémas d'arrivée							
Impératifs d'exploitation	<p>Nombreux récepteurs mobiles et portatifs, modifications fréquentes de la distribution, alimentation par un réseau public.</p> <p>↓</p> <p>TT</p>		<p>Continuité de service pour certains secteurs, risques d'incendies, présence de groupes de secours.</p> <p>↓</p> <p>IT</p>		<p>Circuits de terre incertains (chantiers), alimentation par un réseau public.</p> <p>↓</p> <p>TT</p>		
↓	Schémas de liaison du neutre préconisés						
					<p>Continuité de service pour la majorité de l'exploitation. risques de dégâts importants lors de défauts d'isolement (moteurs, automatisme). risques d'incendie.</p> <p>↓</p> <p>IT</p>		
					<p>Nombreux auxiliaires (machines outils), récepteurs à faible isolement.</p> <p>↓</p> <p>TN</p>		
					<p>Ambiance et/ou récepteurs favorisant le risque de défaut d'isolement.</p> <p>↓</p> <p>Sous-réseau TN</p>		
<b>Les solutions à retenir :</b>							
Type d'appareillage	Fixe ou déconnectable ou débrochable		Fixe ou déconnectable ou débrochable		Fixe		
Type de tableaux	Fixe		Fixe ou à platines déconnectables ou à tiroirs débrochables		A tiroirs débrochables		
Forme de tableau	Forme 1 à Forme 4		Forme 2 à Forme 4				
Degré de protection IP (deux premiers chiffres)	2 à 5		2 à 5		3 à 5		
Appareillage à cadence de commande	faible		Association fusibles - contacteur				
à cadence moteur	élevée		Association disjoncteur - contacteur				
Technologie des auxiliaires de contrôle-commande	Traditionnelle (fil à fil)		Standardisée (modules et connectiques)		Traditionnelle		
					Standardisée		

Fig. 18 : les secteurs d'activité et les impératifs d'exploitation amènent à choisir des schémas de liaison du neutre à la terre ; les solutions retenues dépendent entre autres des formes utilisées et des degrés de protection demandés.

défaillance dangereuse (en terme de sécurité), et de sûreté (en terme économique) :

■ dans les télécommunications, France -Telecom a une probabilité d'indisponibilité d'1 h/siècle pour les centraux téléphoniques ( $\lambda < 10^{-6} \text{ h}^{-1}$ ),

■ dans le transport aérien, deux conditions de sûreté sont fixées pour que :

□ toute panne « globale catastrophique » soit extrêmement improbable ( $\lambda < 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ ),

□ que toute panne « critique » soit extrêmement rare ( $\lambda < 10^{-7} \text{ h}^{-1}$ ) ; ce chiffre peut être comparé à la probabilité ( $\lambda < 10^{-6}$ ) qu'un être humain a de perdre la vie dans l'heure qui vient ;

■ dans les banques, des ruptures d'alimentations provoquent si ce n'est des écritures perdues, des enregistrements d'opérations erronées. Les coûts de pistage et de reprise des erreurs sont alors des éléments de référence ;

■ dans les hôpitaux, c'est la sécurité des personnes qui peut immédiatement être touchée par une défaillance. En particulier, les salles d'opérations et de réanimation sont étudiées pour être des lieux à haut niveau de sûreté ;

■ en milieu industriel les défaillances ont aussi une influence importante en terme de continuité de service. Dans un article de Y. Lafarge, paru dans le journal « Le Monde », sont cités deux exemples :

□ pour BSN, 10 minutes d'arrêt provoque la perte de production de 20 000 pots,

□ pour Peugeot, sur une production de 1 650 véhicules par jour, 1 heure de panne informatique entraîne 100 voitures de moins fabriquées, soit un manque à gagner de 4 millions de francs. Cela permet de comprendre l'intérêt que peut porter un industriel à la disponibilité de l'énergie électrique, puisqu'elle soutient toute l'activité de son entreprise.

Ainsi donc que ce soit dans le domaine tertiaire ou industriel, les défaillances peuvent avoir des répercussions économiques, entraîner des nuisances voire des dangers. Tout cela pouvant affecter notre vie quotidienne pour laquelle un bon service dans 99 % des cas ( $\lambda = 10^{-2}$ ) se traduirait par :

■ pas d'électricité ou d'eau pendant quelques dizaines d'heures chaque année ;

■ le téléphone et la télévision seraient en panne plus de 10 minutes par semaine ;

■ 400 lettres par heure n'arriveraient jamais à destination.

Au travers de ces exemples imagés, les répercussions du choix d'un niveau de sûreté sont évidentes. Le tableau de la **figure 18**, sans être exhaustif, donne les choix les plus importants pour un réseau BT et pour les différents secteurs d'activité. Pour préciser ces choix, il est nécessaire de définir le besoin et de mettre en œuvre les concepts de sûreté vus dans le chapitre précédent.

## 4 Le tableau, perspectives d'avenir

L'évolution de la technologie du tableau électrique est fortement influencée par le développement de la GTE (Gestion Technique de l'Electricité). C'est pourquoi dans ce Cahier Technique sont examinées les implications de la GTE pour la sûreté de fonctionnement.

Il est démontré dans les paragraphes suivants qu'elle apporte à l'installation, un supplément de sûreté, ceci par intégration du traitement de l'information dans le tableau BT qui devient « intelligent ».

### 4.1 La Gestion Technique de l'Electricité

La GTE est déjà utilisée pour la Gestion Technique des Bâtiments -GTB-, laquelle remplace et démocratise la Gestion Technique Centralisée -GTC-. Dans tous les types de bâtiments industriels, tertiaires et même domestiques, il est fait appel à la GTB qui permet la surveillance et le contrôle-commande de fonctions et des utilités qui sont généralement :

- le chauffage et la climatisation,
- la sécurité incendie,
- la protection contre les intrusions,
- les contrôles d'accès, et d'horaires de travail,
- les ascenseurs, l'éclairage...,
- la gestion tarifaire de l'énergie.

La GTB, et la GTE correspondent à une gestion de plus en plus décentralisée pour des raisons de disponibilité, convivialité et modularité (déjà évoquées dans le chapitre 1).

Le rôle de la GTE est la gestion de la distribution de l'énergie électrique. Elle vient en complément des fonctions traditionnelles réalisées au niveau des équipements électriques, (protections, automatismes réflexes, basculement des sources et auxiliaires de secours), en autorisant de nombreuses fonctions du domaine contrôle-commande électrique.

A titre d'exemple :

- réalimentation automatique et progressive des départs après défaut,

- ajustement des consommations aux possibilités de fourniture en énergie du moment (délestage, relestage, démarrage ou arrêt des groupes),

- optimisation des sources en fonction des consommations pour tirer le meilleur parti des contrats de fourniture en énergie à tarifications différenciées,

- optimisation du fonctionnement des batteries de condensateurs,
- participation à la sélectivité (coordination des protections).

Elle permet également :

- le contrôle-commande local et à distance (signalisations, alarmes, commandes et modifications des réglages,...),

- la supervision (représentation graphique de l'état du réseau, mémoire des événements et pilotage de l'installation).

La GTE est d'autant plus nécessaire que le besoin de disponibilité et plus généralement de sûreté est important.

La GTE s'est développée avec la généralisation de l'emploi du microprocesseur, qui simultanément, permet l'ouverture vers une « intelligence » plus grande et répartie.

### 4.2 La GTE apporte un « plus » sûreté

La GTE repose, lors d'une défaillance, sur deux principes :

- la distribution électrique peut rester en l'état. Elle n'est pas remise en cause par la panne d'un module de gestion, ceci est facilité, entre autres, par l'emploi d'appareils bistables de commande de puissance tels que interrupteurs, télérupteurs et disjoncteurs ;

- les systèmes de protection contrôle-commande restent indépendamment actifs. De cette manière, il est possible de continuer une opération en marche dégradée. Ce principe

sauvegarde l'objectif premier de sûreté même si certaines fonctions de confort sont momentanément perdues. Ainsi même si la supervision est défaillante, une fonction de protection peut continuer à remplir sa mission et une centrale de tableau peut rester opérationnelle.

De plus, le fonctionnement de la GTE renforce la sûreté du réseau BT.

- En terme de fiabilité :

- la GTE réduit le risque majeur de défaillances que représentent les interventions humaines,

□ par une information complète elle supprime les risques d'erreurs de gestion du réseau.

■ En terme de maintenabilité

En complément à la fiabilité obtenue grâce à une conception rigoureuse, les produits doivent être rendus « sûrs » par la maîtrise de leur maintenance.

Elle se décompose en deux parties :

□ la maintenance préventive est destinée à prévenir les problèmes et donc de limiter le risque d'arrêt dû à un défaut (elle prévient le défaut),

□ la maintenance curative est destinée à remettre rapidement en état de « marche » le système (elle localise le défaut).

La maintenance préventive est privilégiée à la maintenance curative, car elle évite les problèmes en cours d'exploitation. Elle n'est possible qu'à la condition de bien connaître la vie des produits et d'être capable de détecter une panne potentielle. Ainsi, les expériences et les essais des matériels sont-ils primordiaux pour la connaissance des éléments précurseurs des défaillances. La GTE permet d'exploiter au mieux ce savoir.

□ Un système de maintenance préventive est mis en place pour limiter les interventions de dépannage. Ceci est obtenu par des dispositifs de :

- comptage du nombre de manœuvres,
- mesures de résistance d'isolement....

□ Un système de maintenance curative réalisé à partir d'un dispositif de localisation de panne.

□ Deux systèmes, la télémaintenance et/ou le télédiagnostic, améliorent fortement l'exploitation du tableau :

- la télémaintenance permet de conserver la surveillance sans la nécessité d'avoir sur place une salle de contrôle, et en permanence sur le

site une équipe d'entretien. Le report à distance d'informations concernant les défaillances évite des visites trop rapprochées des différents points de fourniture de l'électricité ;

- le télédiagnostic permet d'effectuer un diagnostic à distance grâce à la transmission par télécommunication des paramètres quantifiables. Il réduit évidemment les temps d'intervention, surtout dans le cas où ce sont des services extérieurs qui sont chargés de la gestion et de l'entretien de l'installation. Ainsi la maîtrise de la panne est obtenue dès leur première intervention.

■ En terme de disponibilité

La disponibilité résulte bien sûr de la fiabilité et de la maintenabilité, mais aussi de :

□ la prévention des surcharges avec comme solution le délestage et le reletage pour éviter un déclenchement,

□ la gestion des sources (basculement, couplage et démarrage de groupes),

□ la sélectivité des différents étages de protection qui, comme expliqué précédemment, a un rôle important dans la disponibilité d'une installation.

■ En terme de sécurité

□ la sécurité des personnes est garantie par des appareils de protection réflexes (placés au plus près du défaut) qui, tout en participant au système de gestion, ont un fonctionnement indépendant en présence d'un défaut.

□ les interventions sont moins nombreuses, ou différées dans le temps. Elles se font donc sans être soumises à l'urgence.

□ une protection supplémentaire est donnée au personnel d'exploitation par la signalisation des états des appareils jusque dans les zones d'intervention, ainsi que par l'avertissement de défaillances potentielles.

## 4.3 La technologie

Toute « l'intelligence » du contrôle-commande doit être organisée avec suffisamment de précautions pour qu'elle donne un bon niveau de sûreté de fonctionnement. En particulier, elle nécessite la mise en œuvre :

- d'une électronique performante,
- de réseaux de communication par bus fiables,
- de logiciels, reconnus fiables, pilotant l'ensemble.

■ L'électronique utilisée est aujourd'hui de plus en plus fiable, car soutenue par ses développements multiples dans les domaines spatiaux, militaires, nucléaires et grand public. La maîtrise de ses niveaux de fiabilité est aisée, les lois statistiques de fiabilité associées aux composants s'appliquant parfaitement, et les calculs de fiabilité d'ensembles étant bien contrôlés.

Le soutien des points critiques se fait par la redondance de tout ou partie des modules électroniques ou par l'emploi de composants fiabilisés.

■ Ce sont les bus qui ont permis le développement des systèmes intelligents décentralisés, ils en sont la véritable colonne vertébrale. Les liaisons « série », qui constituent ces bus, permettent en effet le transfert de données vers de multiples points au travers d'un seul câble (coaxial ou paire torsadée). Leur fiabilité a récemment évolué avec maintenant la possibilité de les isoler des perturbations extérieures de type électromagnétiques, et par l'utilisation de protocoles incluant un contrôle des échanges d'informations. Ce sujet est développé dans le Cahier Technique n° 147 « Initiation aux réseaux de communications numériques ».

■ La sûreté du système passe aussi par celle des logiciels pilotant l'ensemble. Là, pas de révolution, mais une course systématique à la rigueur à tous les niveaux, de leur conception à

leur mise en service (méthodes de spécification, de développement, outils particuliers, procédures très poussées de vérification et de tests).

## 4.4 Le tableau « intelligent »

Le tableau « intelligent » intègre une partie importante de la GTE (cf. **fig. 19**), notamment :

- l'appareillage électrotechnique « intelligent »,
- des systèmes spécifiques (ex. contrôle d'isolement),
- la centrale qui pilote le tableau,
- les bus numériques.

Grâce à l'emploi de microprocesseurs, l'intelligence est décentralisée et répartie jusqu'au niveau des appareils (disjoncteurs,

interrupteurs,...). Ceux-ci, en plus de leur fonction de base, traitent diverses informations, et dialoguent avec la centrale, permettant ainsi :

- la « séquentialité » des actions, (séquentialité logique et dans le temps),
- une capacité de calcul et de traitement de nombreuses informations numériques provenant de ces appareils, des capteurs, et des systèmes spécifiques,

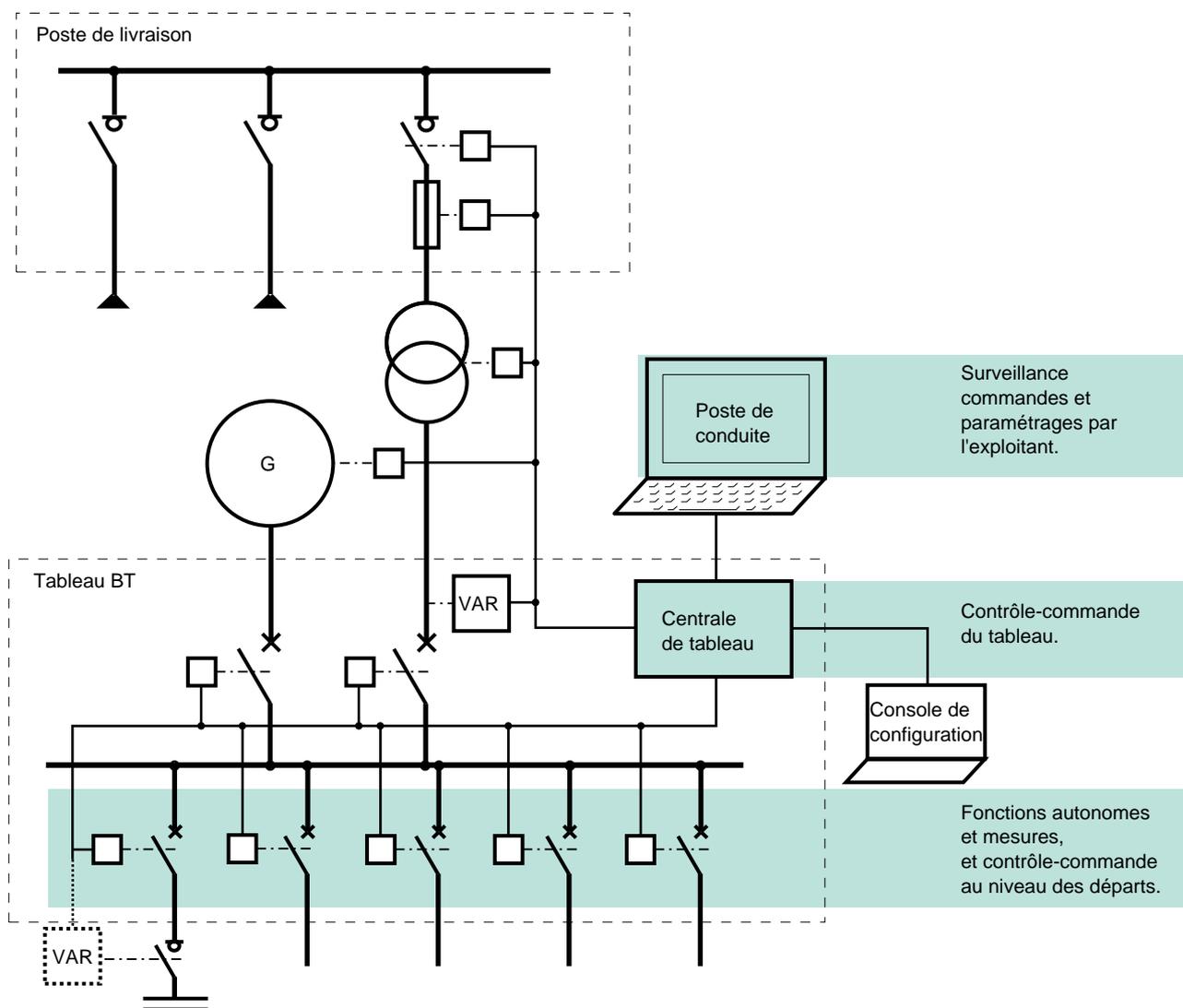


Fig. 19 : schéma d'ensemble du contrôle-commande d'une installation électrique et ses liaisons (BUS).

■ la télétransmission par bus de communication qui permet le dialogue de contrôle-commande avec l'exploitant et/ou le système de supervision,

■ le contrôle et la commande, tant locale qu'à distance, ainsi que la supervision (les ordres sont transmis par le bus).

Le tableau électrique devient ainsi « intelligent » et suivant le degré de complexité de l'installation à gérer, la GTE sera mise en œuvre avec une intégration « d'intelligence » plus ou moins importante : une distribution d'énergie électrique dans le petit tertiaire peut ne nécessiter qu'une visualisation de mesures et d'états en face avant du tableau. Alors que dans un grand immeuble, il faudra prévoir des télécommandes (éclairage, secours,...).

La GTE est aujourd'hui mise en œuvre en MT et BT à l'aide de constituants variés. De plus en plus standardisés et conviviaux pour l'électricien, ces constituants seront l'objet de gammes de plus en plus riches.

Conçus pour fonctionner ensemble, les différents constituants du tableau intelligent par leur cohérence, tant au niveau « hard » qu'au niveau « soft », donnent une plus grande facilité de mise en œuvre et d'utilisation.

Un tableau « intelligent » bien conçu dans sa globalité et constitué de produits cohérents, rationalisés et de série, permet d'obtenir une GTE efficace, et donc une réelle maîtrise de l'énergie électrique avec plus de sûreté.

## 5. Conclusion

La distribution de l'énergie électrique, doit répondre à des exigences croissantes de :

- sûreté de fonctionnement,
- « évolutivité » d'installation,
- convivialité d'exploitation.

Ceci amène les concepteurs à prévoir des installations « intelligentes », indépendantes, communicantes, modulables, fiables et de maintenance facile.

La réponse à tous ces critères est la décentralisation. Les fonctions de base (protection et commande) sont assurées au plus près de l'utilisation. Seule la supervision a une position « centrale ». Elle joue un rôle important dans le pilotage de la distribution en terme de relations homme/système.

La décentralisation se retrouve dans la conception de chaque produit, dans leurs liens (définis entre eux) et dans l'architecture qui les rassemble.

Tous ces éléments (l'appareillage forte puissance, le contrôle-commande et les liaisons électriques) sont intégrés dans le tableau BT, c'est pourquoi son rôle est vital pour toute la distribution, il doit en effet garantir la sûreté de fonctionnement de l'ensemble sachant que :

- le schéma d'arrivée et la fiabilité des récepteurs terminaux sont les points qui peuvent le plus handicaper la sûreté de fonctionnement,
- le schéma de liaison du neutre influence la disponibilité des utilisations terminales : il doit donc être bien adapté à l'exploitation,
- les connexions ont une importance prépondérante sur la fiabilité du tableau : leurs études et leurs réalisations doivent donc être soignées,
- la technologie du tableau, forme, degré de protection, raccordement,..., sont à adapter à

l'environnement dans lequel est situé l'équipement, (niveau de pollution des locaux, qualification des intervenants,...),

- un appareillage débrochable est utilisé quand il permet d'obtenir le supplément de sûreté voulu,
- le départ moteur en tiroir est surtout utilisé dans le process pour la souplesse et l'amélioration de la disponibilité qu'il apporte,
- les auxiliaires dont la connectique et la mise en œuvre sont standardisées fiabilisent le contrôle-commande d'une installation.

La sûreté est l'affaire de tous, du concepteur (bureau d'étude), de l'installateur (mise en œuvre respectant les recommandations du constructeur, et les règles de l'art), des services d'entretien (surveillance et maintenance préventive des points critiques).

Ce Cahier Technique montre comment atteindre les objectifs de sûreté, et comment, par le choix d'options, notamment technologiques, répondre au niveau de sûreté demandé.

Le tableau BT « intelligent », lié à la Gestion Technique de l'Electricité, répond tout particulièrement aux critères de sûreté et de convivialité. Il est la réponse aux attentes du moment et à celles de l'avenir. Suivant la complexité de l'installation, l'intégration « d'intelligence » est plus ou moins importante.

La réalisation de tableaux à gestion intégrée, mais à intelligence décentralisée, répartie, est aujourd'hui grandement facilitée par l'existence de modules, matériels et logiciels standardisés et pérennes. En cela, le contrôle-commande rejoint la notion de tableau ensemble de série et se démarque fortement des automatismes des process industriels.

## Annexe : bibliographie

### Normes

- NF C 12-101 (1988-11) : protection des travailleurs dans les bâtiments qui mettent en œuvre des courants électriques.
- NF C 15-100 (1991-05 + deux additifs) ; parties communes avec CEI 60 364-1 à 5 : règle pour les installations électriques BT.
- NF C 20-010 (1992-10) ; CEI 60 529 (1989-11) : classification des degrés de protection procurés par les enveloppes.
- NF C 20-015 (1995-06) ; EN 50102 (1995) : degrés de protection procurés par les enveloppes de matériels électriques contre les impacts mécaniques externes.
- NF C 20-030 (1996-08) + add. 1 non équivalent à CEI 60 536 (1976-01) : protections contre les chocs électriques, règles de sécurité.
- NF C 20-040 (1996-08) non équivalent à CEI 60 664-1 (1992-10) : lignes de fuites et distances d'isolement dans l'air.
- NF C 63-421 (1994-10), EN 60 439-1 (1994-01) ; CEI 60 439-1 (1992-11) : ensembles d'appareillage à basse tension.

### Cahiers Techniques Merlin Gerin

- Méthode de développement d'un logiciel de sûreté, Cahier Technique n° 117  
R. GALERA, A. JOURDIL
- Introduction à la conception de la sûreté, Cahier Technique n° 144  
P. BONNEFOI
- Etude thermique des tableaux électriques BT, Cahier Technique n° 145  
Ch. KILINDJIAN
- Initiation aux réseaux de communication numériques, Cahier Technique n° 147  
E. KOENIG
- Distribution électrique à haute disponibilité, Cahier Technique n° 148  
G. GATINE, A. LONCHAMPT

- Calcul des courants de court-circuit, Cahier Technique n° 158  
B. de METZ-NOBLAT, G. THOMASSET
- Permutation automatique des alimentations dans les réseaux HT et BT, Cahier Technique n° 161  
G. THOMASSET
- Les efforts électrodynamiques sur les jeux de barres en BT, Cahier Technique n° 162  
CH. KILINDJIAN, J.P. THIERRY
- Les schémas des liaisons à la terre en BT (régimes du neutre), Cahier Technique n° 172  
R. CALVAS, B. LACROIX
- Les schémas des liaisons à la terre dans le monde et évolution, Cahier Technique n° 173  
R. CALVAS
- Etudes de sûreté des installations électriques, Cahier Technique n° 184  
S. LOGIACO
- Tableau général BT intelligent, Cahier Technique n° 186  
A. JAMMES

### Publications diverses

- Les automates programmables sont-ils plus fiables que les relais ?  
Revue J3E - octobre 1990  
F. SAGOT
- An experience of a critical software development  
IEEE Fault tolerant computing symposium 20 - 90/26-28 june  
New Castle  
C. SAYET, E. PILAUD (Merlin Gerin)
- Risque et sécurité dans le domaine du transport  
Revue Maintenance - novembre 1990  
J-C. LIGERON
- Les Cahiers Gimelec
  - les tableaux électriques basse tension
  - les tableaux à gestion intégrée (TGI)

**Schneider**

Direction Scientifique et Technique,  
Service Communication Technique  
F-38050 Grenoble cedex 9  
Télécopie : (33) 04 76 57 98 60

Réalisation : Sodipe - Valence  
Impression : CLERC Fontaine - 2000  
- 100 FF-