

SCHÉMAS ÉLECTRIQUES DES MACHINES INDUSTRIELLES ET SÉCURITÉ

**Principes et règles de base
Données technologiques indispensables**



ED 581

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	5
1. RÔLE DE L'ÉLECTRICIEN CHARGÉ DES ÉTUDES D'ÉQUIPEMENT	7
1.1. Définition	7
1.2. Conditions dans lesquelles ont lieu les études d'équipement	7
1.3. Données de départ indispensables	7
2. RÉGLEMENTATION. DIRECTIVES OFFICIELLES	8
2.1. Réglementation et commentaires officiels	8
2.2. Documents ayant valeur de recommandations	8
2.3. Documentation technique	8
2.3.1. Format du schéma	9
2.3.2. Exécution du schéma	9
2.3.3. Annexes du schéma	9
3. ÉLABORATION DU SCHÉMA À PARTIR DES FONCTIONS INDISPENSABLES DE L'ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE DE LA MACHINE	11
3.1. Consignation de l'équipement	11
3.2. Alimentation du circuit de commande par l'intermédiaire d'un transformateur	11
3.3. Protection du circuit primaire du transformateur	15
3.4. Protection des personnes contre les conséquences d'un défaut électrique	16
3.4.1. Protection des personnes contre les chocs électriques	16
3.4.2. Protection des personnes contre les effets de la mise à la masse accidentelle du circuit de commande	17
3.5. Protection du secondaire du transformateur alimentant le circuit de commande contre les surintensités	22
3.5.1. Protection contre les courts-circuits	22
3.5.2. Protection contre les surcharges	22
3.6. Mise sous tension du circuit de commande	22
3.6.1. Commande d'arrêt général. Commande d'arrêt d'urgence	24
3.6.2. Les deux catégories de dispositifs détecteurs de sécurité	24
3.7. Sélection des différents modes de fonctionnement	25
3.7.1. Marche manuelle. Marche automatique	27
3.7.2. Marche « à la volée ». Marche « cycle par cycle »	29
3.7.3. Chargement automatique. Chargement manuel	29
3.7.4. Marche « réglage »	30
3.7.5. Marche « dépannage »	32
3.8. Vérification, en fin de cycle, du retour aux conditions de départ. Relais « de fin de cycle »	32
3.9. Déclenchement, répétition ou non-répétition du cycle	33
3.9.1. Relais de « départ de cycle »	33
3.9.2. Action de l'opérateur	33
3.9.3. Relais de « non-répétition du cycle »	35
3.9.4. Maintien de la marche « à la volée »	35
3.10. Vérification de l'évacuation des pièces	35
3.11. Mode de commande des mouvements composant le cycle	35
3.11.1. Choix des distributeurs hydrauliques et pneumatiques	35
3.11.2. Enchaînement des mouvements (phases) composant le cycle	38
3.11.3. Illustration des principes exposés au paragraphe précédent	39

4.	DONNÉES TECHNOLOGIQUES	41
4.1.	Voyants lumineux. Boutons-poussoirs (lumineux ou non)	41
4.2.	Détermination du calibre ou de la puissance des appareils	42
4.3.	Protection des circuits contre les surintensités	42
4.3.1.	Protection contre les surcharges	43
4.3.2.	Protection contre les courts-circuits	44
4.4.	Choix des interrupteurs à commande mécanique pour la réalisation de verrouillages électriques	44
4.5.	Câblage	44
4.5.1.	Câbles alimentant le circuit de puissance	44
4.5.2.	Câbles assurant la liaison entre l'armoire électrique et les différents appareils électromécaniques situés sur la machine et appartenant au circuit de commande	44
4.5.3.	Repérage des conducteurs	45
4.6.	Armoires électriques	45
4.6.1.	Conception et aménagement	45
4.6.2.	Appareil de sectionnement	45
4.7.	Partie de l'équipement placée sur la machine	46
4.7.1.	Appareils électromécaniques	46
4.7.2.	Liaisons électriques	46

Cette brochure constitue le prolongement d'un mémoire traitant du même sujet, élaboré par M.F. Muscat, ancien ingénieur-conseil au service « Prévention » de la Caisse régionale d'assurance maladie de Nantes, avec la collaboration, pour l'exécution des schémas, de M.A. David, dessinateur d'études au même service.

Elle est destinée principalement :

- aux bureaux d'études des constructeurs de machines industrielles,
- aux enseignants et aux étudiants en électrotechnique industrielle, en techniques d'automatisation...
- aux techniciens chargés du choix, de la transformation, de l'entretien des machines dans les entreprises,

et, plus généralement, **à tous les techniciens préoccupés par les incidences – autres que les risques d'électrocution – de la conception de l'équipement électrique des machines sur la sécurité de leurs opérateurs, régleurs et dépanneurs.**

AVANT-PROPOS

Il existe deux grandes familles d'études électriques, qui se distinguent l'une de l'autre par la nature des problèmes à résoudre et par le matériel électrique mis en œuvre.

- La première famille comprend toutes les études relatives à la distribution de l'énergie électrique (conception des installations électriques). A partir du poste de livraison d'énergie électrique sous basse tension propre à un établissement, il s'agit d'amener l'énergie électrique à chaque équipement d'utilisation en tenant compte de la puissance des récepteurs et de leur tension nominale.
- La deuxième famille est constituée par les études orientées vers la conception d'équipements pour l'automatisation, à divers degrés, du fonctionnement de machines ou d'ensembles de machines industrielles (*).

La jonction de ces deux familles se situe au niveau de l'équipement « de puissance » avec, comme données communes, la tension et la puissance des récepteurs.

Les études de la première famille (conception des installations électriques) sont généralement bien conduites et les réalisations correspondantes sont, le plus souvent, satisfaisantes.

Il n'en est pas toujours de même pour les études de la deuxième famille, au cours desquelles la sécurité des utilisateurs des machines est, parfois, insuffisamment prise en considération.

Pour cette raison, la présente brochure se limite aux études de la deuxième famille, c'est-à-dire à la conception de l'équipement électrique des machines industrielles (*).

L'application des principes et des règles pratiques exposés dans cette brochure permet d'éviter les dysfonctionnements que peut engendrer une mauvaise conception de l'équipement électrique d'une machine et qui sont, bien souvent, à l'origine d'accidents que les moyens classiques de protection ne permettent pas toujours d'éviter. Il s'agit d'une action de prévention intrinsèque.

Les machines envisagées comportent un certain nombre de récepteurs dont le fonctionnement est coordonné automatiquement et qui, le plus souvent, transforment l'énergie électrique en énergie mécanique.

Les récepteurs peuvent être groupés dans un espace relativement restreint : c'est le cas des machines-outils. Ils peuvent aussi être répartis dans un espace important, avec comme seul lien la coordination automatique du fonctionnement des différents récepteurs. Il s'agit alors d'ensembles automatisés tels que la sablerie d'une fonderie, une « unité » automatique de fabrication de parpaings ou encore un ensemble automatique de manutention.

A l'heure actuelle, il est extrêmement souhaitable pour la sécurité que l'équipement électrique de toutes les machines industrielles soit conforme aux prescriptions de la norme NF C 79-130 « Équipement électrique des machines. Première partie. Règles générales ».

(* Exemples : machines-outils, machines-transferts, installations automatisées de peinture, de conditionnement...

Cette brochure illustre, en traitant un exemple, l'application des prescriptions de cette norme, à laquelle il est fait référence tout au long du texte.

L'exemple retenu concerne une machine capable d'effectuer un usinage simple (perçage).

La machine est composée :

- d'un chargeur permettant d'amener une pièce à usiner dans les pinces d'un dispositif d'alimentation, appelé « transfert » dans la suite du texte ;
- d'un transfert déplaçant la pièce à usiner du poste de chargement au poste de perçage. Le transfert porte une pince maintenant la pièce pendant le déplacement et pendant l'usinage. Cette pince est « à sécurité positive » (elle est maintenue fermée par des ressorts et s'ouvre sous l'effet de l'air comprimé) ;
- d'une unité de perçage.

Les séquences du cycle avec chargement automatique sont les suivantes (cf. planche A) :

1. Avance du chargeur de la goulotte d'amenée des pièces au poste de chargement.
2. Fermeture de la pince de maintien de la pièce.
3. Recul du chargeur jusqu'à la goulotte d'amenée des pièces.
4. Avance du transfert du poste de chargement au poste d'usinage, puis mise en marche de la broche.
5. Avance de l'unité de perçage. Le perçage a lieu pendant cette séquence.
6. Recul de l'unité de perçage, puis arrêt de la broche.
7. Recul du transfert du poste d'usinage au poste de chargement.
8. Ouverture de la pince du transfert.
9. Evacuation, par gravité, de la pièce usinée dans la goulotte d'évacuation.

Il s'agit là d'un cycle extrêmement courant en usinage automatique. C'est, malgré sa complexité apparente, le cycle le plus simple qui permette d'illustrer toutes les notions exposées dans cet ouvrage.

Les équipements électroniques qui peuvent être adjoints, en plus ou moins grande proportion, à l'équipement électrique des machines industrielles, ne sont pas explicitement pris en considération dans la présente brochure. Pour la conception de ces équipements, le bureau d'études aura intérêt à tenir compte des textes ou documents officiels parus et, notamment, de la norme NF C 79-130/EN 60-204 « Équipement électrique des machines. Première partie. Règles générales », applicable à l'équipement électromécanique et à l'équipement électronique, ainsi que de la norme NF C 63-850 « Automates programmables ».

Bien qu'ils soient illustrés par des schémas électromécaniques, certains des principes exposés aux paragraphes 3.7 à 3.12 ont, du point de vue de la logique de la conception des systèmes de commande, une valeur universelle, indépendante de la technologie employée.

1. RÔLE DE L'ÉLECTRICIEN CHARGÉ DES ÉTUDES D'ÉQUIPEMENT

1.1. Définition

Il incombe à l'électricien chargé des études d'équipement de faire fonctionner correctement des machines industrielles conçues, le plus souvent, par des non-électriciens.

« Faire fonctionner correctement une machine » signifie non seulement concevoir son équipement de manière que, dans les conditions normales, cette machine accomplisse exactement le cycle d'opérations souhaité, mais encore faire en sorte que les défaillances technologiques toujours probables n'affectent ni la sécurité des personnes ni l'intégrité de la machine elle-même. Cela implique aussi que toutes les précautions utiles soient prises au moment de la conception de la machine pour que les interventions humaines sur les mécanismes et les circuits puissent toujours avoir lieu sans risque.

1.2. Conditions dans lesquelles ont lieu les études d'équipement

- Dans les entreprises importantes, quand une demande d'étude parvient à l'électricien, les plans de réalisation mécanique, hydraulique et pneumatique sont, en général, terminés.

L'électricien doit « superposer » son équipement à un système qui n'a pas forcément été analysé à fond quant à certains aspects de la sécurité.

Le mécanicien a déterminé et positionné les interrupteurs de fin de course (1) ; l'hydraulicien a fait de même pour les manostats et pour divers appareils de commande. Ils ont établi un cahier des charges dans lequel ils ont indiqué l'enchaînement des mouvements (des opérations, des séquences...) composant le cycle que la machine devra accomplir automatiquement.

On conçoit facilement les difficultés que va rencontrer l'électricien pour faire remanier les plans établis afin de pouvoir y adjoindre un élément (« fin de course » par exemple) qu'il juge nécessaire à la sécurité du personnel ou de la machine.

Il peut sembler, *a priori*, que la sécurité du personnel et la sécurité de la machine (2) soient indépendantes l'une de l'autre. Elles sont, en réalité, interdépendantes. Souvent, le fait d'assurer convenablement la sécurité de la machine peut renforcer considérablement la sécurité des travailleurs. Combien d'accidents sont la conséquence d'un défaut d'interverrouillage entre plusieurs éléments mécaniques !

(1) Appelés communément « fins de course ». L'emploi du mot « contacteur » pour désigner ces interrupteurs est à proscrire formellement.

(2) De même que par « sécurité du personnel » on désigne un état caractérisé par une probabilité nulle d'accident, on peut appeler « sécurité d'une machine » un état dans lequel la probabilité d'avarie est nulle pour la machine considérée.

- Dans les entreprises de moindre importance, le rôle de l'électricien se trouve simplifié. En effet, les études mécaniques, hydrauliques, pneumatiques et électriques y sont réalisées en commun, ce qui lui permet de conseiller utilement le mécanicien sur la position, le nombre, le type des « sécurités » qu'il juge nécessaires

1.3. Données de départ indispensables

Muni du cahier des charges, l'électricien va d'abord, en s'aidant des plans de la machine, prendre connaissance des fonctions que celle-ci devra accomplir dans les conditions de son utilisation normale. Cette tâche lui sera d'autant plus facile que les plans seront plus complets et explicites.

De plus, il lui faudra imaginer les particularités de la marche manuelle, qui est trop souvent oubliée dans les cahiers des charges.

L'électricien devra faire appel à son bon sens et à l'expérience qu'il aura acquise à l'occasion des mises au point, lors des « démarrages » et qu'auront affinées les améliorations demandées par les utilisateurs une fois la machine mise en exploitation.

L'expérience des améliorations auxquelles procède l'électricien, aussi bien au démarrage qu'en exploitation, lui confère une forme de réflexion très particulière qui lui permet de « voir plus loin » que le simple cahier des charges qui lui est proposé.

Malheureusement, dans certaines entreprises, il arrive que l'électricien ne participe pas à la mise en route des machines et ne soit pas averti des modifications apportées en cours d'exploitation.

Pis encore, il arrive que, pour réduire le coût de l'équipement, on demande à l'électricien de réduire, voire de supprimer certaines sécurités, jugées superflues. Un tel comportement est moralement condamnable, car il fait fi de la sécurité des personnes.

A de telles demandes, il faut répondre qu'une machine industrielle doit être conçue non pas seulement pour être montée et vendue mais pour être utilisée. On doit avoir en permanence le souci que cette machine soit un outil de travail sûr, d'utilisation commode, facile à dépanner et ne pas oublier que l'équipement électrique doit avoir la même durée de vie que la machine.

Toutes ces observations et réflexions nous amènent aux conclusions suivantes : l'électricien chargé de l'étude de l'équipement ne peut et ne doit commencer le tracé du schéma électrique qu'une fois en possession de tous les éléments nécessaires à sa bonne réalisation (plans mécaniques, hydrauliques, pneumatiques). Par expérience, on peut affirmer qu'un schéma électrique tracé à partir de suppositions ou de bases mal définies doit toujours subir de profondes modifications lors de la mise en route de la machine, ce qui engendre une perte de temps et un coût plus élevé.

2. RÉGLEMENTATION. DIRECTIVES OFFICIELLES

2.1. Réglementation et commentaires officiels

□ L'ancienne réglementation « Machines » basée sur les décrets n^{os} 80-543 et 80-544 du 15 juillet 1980, de même que les nouveaux décrets n^{os} 92-766 et 92-767 du 29 juillet 1992 transposant les directives européennes « Conception » fixent des exigences concernant :

- la prévention des chocs électriques, des électrocutions, des brûlures, incendies et explosions d'origine électrique, en se référant au décret n^o 88-1056 du 14 novembre 1988 ;
- la prévention des effets dangereux des interruptions ou des variations de l'alimentation en énergie ;
- la prévention de la mise en marche intempestive, principalement en l'absence de défaillances ;
- la prévention des effets dangereux des défaillances du système d'alimentation en énergie et du circuit de commande ;
- la priorité des ordres d'arrêt sur les ordres de marche ;
- les dispositions s'opposant à la répétition automatique des cycles, dans le cas où cette répétition présente un danger ;
- les conditions de neutralisation des dispositifs de sécurité pour certaines opérations de réglage ou d'entretien.

Ces textes exigent également la mise en place sur toute machine :

- de commandes d'arrêt ;
- d'un dispositif de séparation verrouillable ;
- d'un sélecteur verrouillable de mode de commande ou de fonctionnement.

Il est vivement recommandé d'étudier la brochure INRS ED 623 « Intégration de la sécurité dans la conception des machines et appareils. Réglementation française » avant d'aborder la suite de ce texte, au moins les parties relatives à l'équipement électrique des machines et à la conception de leur système de commande.

La réglementation impose principalement des obligations de résultats, le choix des moyens à employer pour obtenir ces résultats étant, dans la plupart des cas, laissé à l'initiative du concepteur de machine, qui dispose notamment, dans cette démarche, des indications fournies par des normes et par cette brochure.

□ **Arrêté du 15 décembre 1988** (JO du 30.12.1988)

En son article 6 (reproduit ci-après), cet arrêté précise les modalités pratiques de protection des circuits internes des machines ou appareils contre les contacts indirects.

Art. 6. Circuits internes des machines ou appareils
Les circuits internes des machines ou appareils alimentés par des transformateurs à enroulements séparés

doivent posséder leurs propres dispositifs de protection contre les contacts indirects à moins qu'ils ne soient alimentés en TBTS ou TBTP conformément aux dispositions de l'article 7 du décret susvisé. Le schéma TN peut être utilisé pour les circuits secondaires monophasés en reliant à la terre une des phases, mais dans ce cas le conducteur de phase correspondant et le conducteur de protection ne doivent pas être confondus.

En ses articles 3 et 4, ce même arrêté précise que, d'une façon générale, pour assurer la protection contre les risques de contact indirect en basse tension (1) il convient de se reporter à la NF C 15-100 (2).

2.2. Documents ayant valeur de recommandations

- **Norme française NF C 79-130** « Equipement électrique des machines, première partie : règles générales ». Cette norme, homologuée le 20 janvier 1993, pour prendre effet à compter du 20 février 1993, remplace la norme homologuée NF C 79-130 de septembre 1985. Ce document, qui reproduit le texte de la norme européenne EN 60-204-1 d'octobre 1992 est applicable à l'équipement électrique et électronique aussi bien d'une machine individuelle que d'un groupe de machines fonctionnant de manière coordonnée. Il entre dans le cadre de la Directive Machines. Cette nouvelle édition de la norme diffère de la précédente en ce que le domaine d'application n'est pas limité aux machines industrielles, mais inclut les machines qui sont couvertes par la Directive CEE relative à la sécurité des machines.
- **Recommandation CNOMO 03-15-600 N**

Ces documents ne traitent que de cas généraux et sont loin de répondre à toutes les questions qu'un électricien est amené à se poser lors de l'étude d'un schéma électrique d'automatisme ; en outre, ils n'ont pas différencié clairement les mesures de sécurité qui doivent être prises au moment de l'étude du schéma électrique de celles qui devront être prises au moment de la réalisation de l'équipement électrique.

2.3. Documentation technique (NF C 79-130, chapitre 19)

Le schéma électrique doit permettre, notamment aux dépanneurs, de comprendre le fonctionnement de l'équipement.

(1) Tensions inférieures à 1 000 V en courant alternatif et à 1 500 V en courant continu lisse.

(2) Sections 413, 442, 533, 534 et éventuellement 482 ou 483.

Il s'avère que la meilleure représentation est celle du schéma développé. Un tel schéma distingue le circuit de puissance, le circuit de commande et le circuit de signalisation. Si cela est nécessaire, on ajoutera le circuit des mesures et le circuit spécifique des sécurités.

2.3.1. Format du schéma des circuits électriques, en représentation développée

Actuellement, les schémas électriques peuvent être présentés sous différents formats :

- les formats A₀ et A₁, utilisés en Amérique et en Angleterre, et qui tendent à être abandonnés à cause de leur encombrement, peu favorable aux dépannages ;
- le format « dépliant », de hauteur égale à 290 mm et de longueur adaptée à la représentation complète de l'équipement. De par sa longueur, le schéma nécessite le plus souvent, comme les cartes routières, un pliage « en accordéon ». Par rapport au précédent, ce format offre des avantages pour le dépannage, mais pose des problèmes d'encombrement lorsqu'il s'agit de stocker les calques ;
- le format A₃, couramment utilisé en Allemagne, tend à se généraliser en France, car il offre les avantages du format dépliant tout en n'ayant pas ses inconvénients.

Le schéma est composé de plusieurs feuilles agrafées ensemble. Sur chaque feuille, on s'efforce de représenter tous les relais et contacteurs nécessaires pour l'exécution d'un mouvement. Les schémas ayant ce format peuvent être facilement stockés dans les centres d'archivage et sur les lieux de l'exploitation.

2.3.2. Exécution du schéma (voir les planches A, B, C, D, E à la fin de la brochure)

- Le circuit de puissance (cf. planche B) est représenté par des lignes horizontales (une par phase, plus une pour le neutre, quand il est distribué, et une pour le conducteur de protection) tracées à la partie supérieure du schéma. De ces lignes horizontales partent les dérivations vers les récepteurs.
- Le circuit de commande (cf. planches C, D, E) est représenté entre deux lignes horizontales qui correspondent chacune à un pôle du secondaire du transformateur qui l'alimente. Une ligne est placée à la partie supérieure du schéma, l'autre à la partie inférieure.
- Pour les raisons exposées au paragraphe 3.4., les bobines des relais et des contacteurs ont une borne reliée directement à l'un des pôles du circuit de commande. En général, on choisit le pôle auquel correspond la ligne figurant à la partie inférieure du schéma.
- A partir de l'autre pôle (ligne supérieure), on trace, suivant un alignement vertical, tous les contacts dont dépendent l'« appel » et l'auto-alimentation de la bobine représentée au bas de cet alignement.
- Chaque ligne verticale est repérée par son abscisse.
- Toutes les bobines de relais et de contacteurs sont repérées ; tous les contacts d'un relais ou d'un contacteur portent le même repère que la bobine.
En général (cf. publication 113-2 de la CEI), le repère des bobines de relais s'effectue de la manière suivante : à chaque type d'appareil est affectée une lettre qui lui est propre (ex. : relais R, contacteur C, minuterie M...) ; à cette lettre, on ajoute soit d'autres lettres, soit un numéro.
- L'adjonction de lettres permet de rappeler la fonction du relais (ex. : RAR = Relais d'Avance Rapide), mais cet avantage devient minime quand le schéma comporte

un grand nombre de relais, ce qui oblige à utiliser jusqu'à 5, voire 6 lettres (ex. : RARBAR = Relais d'Avance Rapide de la Butée Arrière). Le dépanneur retrouve difficilement ce relais, dans l'armoire électrique, parmi d'autres ayant des appellations similaires. Comme les appellations, pour une même fonction, ne sont pas normalisées, et peuvent varier d'un constructeur à l'autre, l'avantage de cette méthode de repérage n'apparaît plus dans les installations importantes et non répétitives.

- L'adjonction d'un numéro permet, pour les équipements importants, de retrouver facilement le relais dans l'armoire. Les relais sont, le plus souvent, placés en lignes et la lecture s'effectue de gauche à droite et de haut en bas, dans l'ordre des numéros.
- Sous le symbole de la bobine, on indique le type de l'appareil, afin que soit facilement connu le nombre des contacts qu'il possède. On indique également l'abscisse de chaque contact actionné par la bobine, en distinguant les contacts à fermeture des contacts à ouverture (ex. : 30 = contact « F » ; 30 = contact « O »). Réciproquement, le repère de chaque contact est complété par l'indication de l'abscisse de la bobine qui l'actionne.
- La fonction de chaque relais et de chaque contacteur doit être indiquée. Le plus souvent, on l'exprime au-dessous du symbole de la bobine de l'appareil.
- Les schémas représentent toujours l'équipement hors-tension, la machine étant dans les conditions de l'origine du cycle.
- Le circuit de signalisation est représenté suivant les mêmes conventions que le circuit de commande. On peut le placer soit au-dessus du circuit de commande, soit sur un feuillet réservé à la signalisation.
- Sur certains schémas comportant moins de dix lampes de signalisation, par exemple, il n'est pas justifié de représenter le circuit de signalisation de manière distincte. En effet, on emploie alors des lampes alimentées par un transformateur individuel incorporé, relié directement au circuit de commande.
- Les schémas de cette brochure ont été exécutés conformément aux conventions de représentation des appareils électriques exposées dans la norme NF C 03-207 (1).

2.3.3. Annexes du schéma

Il est indispensable d'annexer au schéma, sur des feuillets indissociables de celui-ci :

- 1° Le diagramme de cycle de la machine (planche A) : sur ce diagramme sont représentées les différentes séquences du cycle. A l'origine de chaque séquence sont mentionnés les organes de commande et de service (boutons-poussoirs, « fin de course », distributeurs manostats, mémoires, minuteriers...) dont le changement d'état détermine la transition avec la séquence précédente. Si le début d'une séquence dépend de l'état de plusieurs de ces organes, les relations logiques entre les états qui déterminent le déclenchement de la séquence doivent également être indiquées.

Ce diagramme (trop souvent oublié !) est nécessaire à l'étude rapide du schéma par un électricien qui n'a pas sous les yeux l'équipement de la machine et qui n'a pas participé à son étude.

(1) NF C 03-207 - Symboles graphiques pour schémas », 7^e partie : Appareillage et dispositifs de commande et de protection (CEI 617-7).

Lorsque la machine est complexe (machine-transfert, par exemple), le diagramme du cycle doit être subdivisé et chaque subdivision incluse dans le schéma à la suite de la portion de schéma correspondante. Chaque subdivision du schéma se présente alors comme les schémas et diagrammes A, B, C, D, E, insérés, sous forme de dépliants, à la fin de cette brochure.

Lorsque cela est possible, il y a tout avantage à faire figurer sur un même document le circuit de puissance, le circuit de commande et le diagramme de cycle.

2° La nomenclature du matériel : présentée sous forme de tableau, cette nomenclature comprendra tous les repères et toutes les références nécessaires à la commande d'un appareil ou d'une pièce de rechange.

3° L'implantation du matériel (cf. plan d'installation dans la publication 204.1.C, annexe E, de la CEI).

En fin de schéma, il est utile de représenter succinctement la machine et d'indiquer sur sa représentation où sont placés les « fins de course », distributeurs, manostats, moteurs, vérins..., afin de faciliter les recherches du dépanneur (cf. planche A).

3. ÉLABORATION DU SCHÉMA À PARTIR DES FONCTIONS INDISPENSABLES DE L'ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE DE LA MACHINE

Tenant compte des directives exposées au chapitre 2, l'électricien va envisager successivement, pour les adapter au cas particulier à traiter, les fonctions (et les appareils correspondants) que l'on doit retrouver dans tout schéma.

3.1. Consignation de l'équipement (NF C 79-130, § 5.3)

Toute machine doit être munie d'un dispositif permettant de la séparer de sa (ses) source(s) d'alimentation en énergie.

Le dispositif de séparation doit être verrouillable, afin que la consignation de la machine puisse être facilement réalisée.

La publication C 18-510 de l'UTE définit la consignation d'un équipement de domaine basse tension comme le résultat d'une suite de trois actions.

1° séparer (à vide) l'équipement électrique de la machine de l'installation électrique de l'atelier ;

2° condamner l'appareil de séparation ;

3° vérifier l'absence de tension aux bornes de l'équipement consigné.

La consignation de l'équipement assure la sécurité des travailleurs chargés de l'entretien et de la surveillance du matériel, dans les conditions imposées par les textes reproduits dans la brochure ED 723 de l'INRS « Protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques » : décret du 14 novembre 1988, circulaire du 6 février 1989, arrêtés d'application du décret.

L'appareil de séparation, qui doit pouvoir être condamné en position d'ouverture par trois cadenas au moins ou par une serrure faisant partie d'un système d'interverrouillage à transfert de clé, peut être un sectionneur à commande d'enclenchement et de déclenchement manuelle.

Cet appareil est doué d'un pouvoir de fermeture mais aucune garantie de pouvoir de coupure n'est exigée. Pour permettre d'ouvrir un circuit en charge, le sectionneur est muni d'un pôle auxiliaire s'ouvrant avant les pôles principaux.

La manœuvre de l'appareil se fait en deux temps :

- premier temps : ouverture du circuit de commande à l'aide du pôle auxiliaire ;
- deuxième temps : ouverture du circuit de puissance.

Malgré la présence de ce dispositif, on déplore de nombreuses explosions de sectionneurs ; c'est pourquoi ce type d'appareil est à déconseiller.

Pour la séparation entre l'équipement de la machine et l'installation de l'atelier, on peut aussi envisager d'utiliser :

- un disjoncteur à commande d'enclenchement manuelle et à double commande de déclenchement, l'une manuelle, l'autre automatique sur présence de défaut.

Il est nécessaire que l'appareil monté soit garanti par le constructeur comme pouvant effectuer normalement 500 000 manœuvres.

Cet appareil a l'avantage d'assurer une protection générale contre les surintensités.

- un interrupteur à commande d'enclenchement et de déclenchement manuelle. Cet appareil, comme le disjoncteur, possède un pouvoir de fermeture et de coupure permettant d'effectuer la fermeture et l'ouverture d'un circuit en charge.

Il faut associer à cet appareil une protection générale contre les courts-circuits.

Il convient d'être circonspect quant à l'utilisation de ces deux derniers types d'appareils. La formation d'arcs peut entraîner la métallisation des chambres de coupure. C'est pourquoi la consignation de l'équipement comporte obligatoirement la vérification de l'absence de tension.

Afin que soit réalisable leur condamnation (seconde action entrant dans la définition de la consignation) (1) ces appareils doivent également comporter un dispositif permettant de les immobiliser en position d'ouverture par 3 cadenas au moins ou par une serrure faisant partie d'un système d'interverrouillage à transfert de clé.

Pour les machines de faible puissance, d'un courant assigné n'excédant pas 16 A et dont la puissance totale des moteurs ne dépasse pas 3 kW (les courants de défaut étant coupés par ailleurs sur l'installation), la prise de courant constitue un moyen de séparation admissible.

Un sectionneur à coupure visible (position des pôles mobiles vérifiable à tout instant) assure la fonction de séparation avec le même degré de sécurité qu'une prise de courant.

Sur les appareils protégés, fermés, tels que les disjoncteurs et les interrupteurs, la position de la poignée de manœuvre n'indique pas en toute certitude la position des pôles mobiles. Certains fabricants proposent des disjoncteurs et des interrupteurs à coupure visible.

Le fait qu'un appareil de coupure soit à coupure visible ne dispense pas, lors de la consignation d'un équipement, de vérifier l'absence de tension.

3.2. Alimentation du circuit de commande par l'intermédiaire d'un transformateur (NF C 79-130, § 9.1.1)

Il est impératif de préserver tout circuit de commande de l'influence des défauts d'isolements (francs ou non francs) qui peuvent exister, ou apparaître temporairement dans le système d'alimentation (réseau, installation de l'atelier).

(1) Cf. publication C 18-510 de l'UTE : Prescriptions de sécurité applicables aux travaux de construction, d'exploitation et d'entretien des installations électriques et équipements électriques des établissements soumis aux dispositions du décret du 14 novembre 1988.

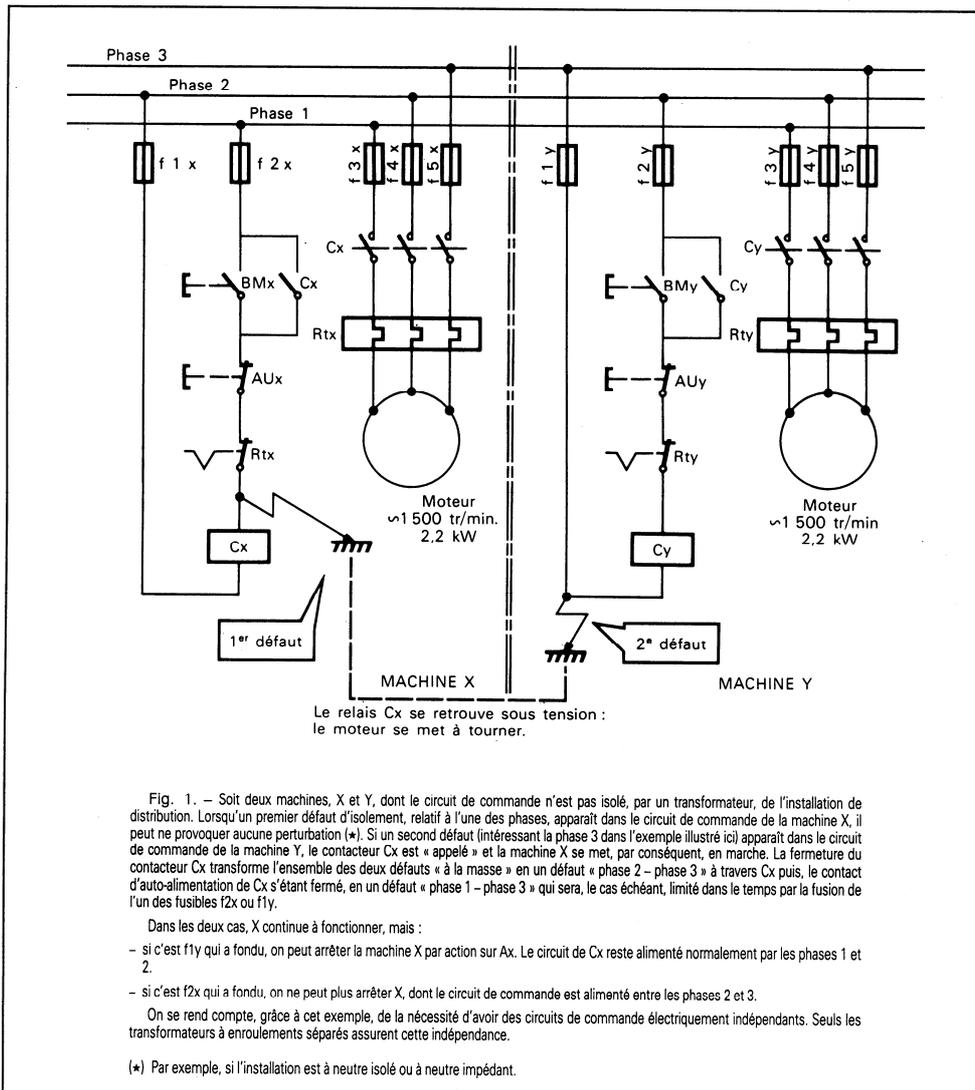
A l'origine, les circuits de commande étaient raccordés entre phase et neutre (installations de distribution de 380 V) ou entre phases (installations de distribution en 220 V) ce qui pouvait engendrer une mise en marche intempestive provoquée par un double défaut d'isolement, les circuits de commande n'étant pas isolés de l'installation de distribution par un transformateur (fig. 1).

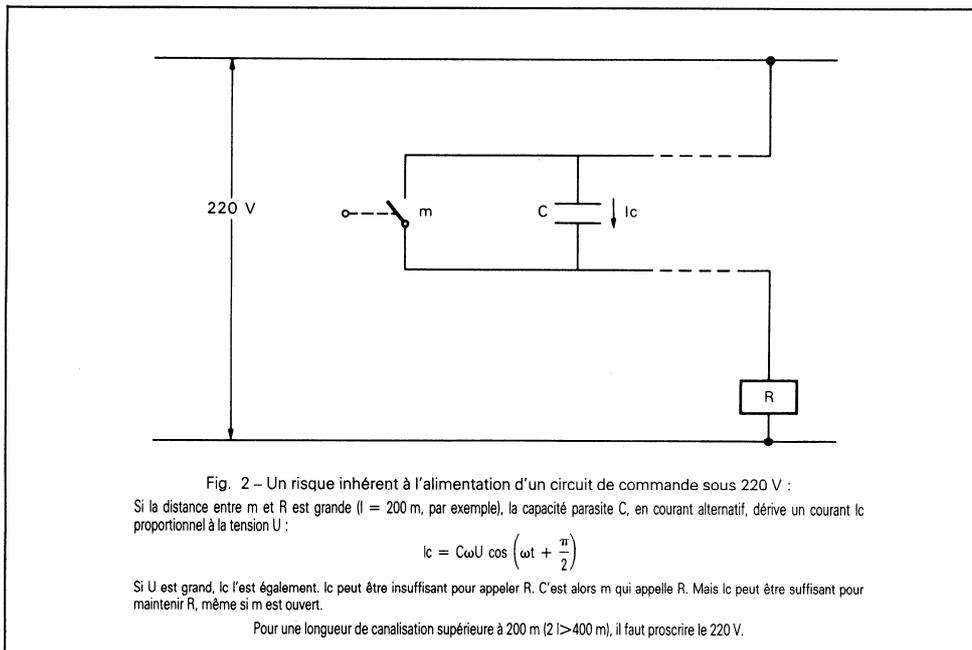
Vers 1950, pour éviter les accidents d'origine mécanique résultant de défauts d'isolement au niveau du circuit de commande, on a isolé, par un transformateur, le circuit de commande du système d'alimentation.

On a ainsi rendu le circuit de commande électriquement distinct du système d'alimentation, l'affranchissant, du même coup, de tous les défauts d'isolement qui peuvent affecter ce système.

Deux tendances s'opposaient pour définir la tension secondaire de ce transformateur :

- choix d'une très basse tension (48 V, par exemple) évidemment peu dangereuse pour le personnel, mais insuffisante parfois pour éviter les pannes par « mauvais contact » (phénomène d'« évanouissement des contacts » des relais, dû à l'augmentation de la résistance de contact de ces éléments) ;
- choix du 220 V, tension éliminant pratiquement le risque de panne par « mauvais contact », mais reconnue trop élevée non pas tant à cause du risque d'électrocution qu'elle engendre que pour la raison exposée ci-après (fig. 2).





En France, comme aux Etats-Unis, c'est en définitive la valeur 110 V qui avait été retenue. Comme, en France, la tension de 110 V n'est pas une tension normalisée par les distributeurs d'énergie électrique, qui ont retenu les valeurs 127 V, 220 V, 380 V pour la basse tension, le choix de la valeur 110 V pour la tension d'alimentation du circuit de commande oblige à alimenter celui-ci par l'intermédiaire d'un transformateur, donc à le rendre électriquement distinct du système d'alimentation.

A noter que la nouvelle NF C 79-130 (§ 9.1.2) ne prescrit plus de tension préférentielle ; elle demande seulement que les tensions de commande soient compatibles avec un fonctionnement correct du circuit de commande, et que, lorsque cette tension est fournie par un transformateur, elle ne dépasse pas une tension assignée de 250 V.

Remarque 1 : Les normes allemandes préconisent le 220 V comme tension secondaire pour l'alimentation des circuits de commande. Etant donné que cette tension est, avec le 110 V, une des tensions recommandées par la Commission électrotechnique internationale, les normes allemandes sont en conformité avec les publications internationales.

Le Comité électrotechnique allemand s'est aligné sur ces décisions, car il considère que les risques d'électrocution sont les mêmes dès que la tension d'alimentation des circuits de commande dépasse 50 V (1) ; il a donc maintenu l'emploi de la tension 220 V. De ce fait, certains constructeurs allemands ne mettent pas de transformateur et alimentent le circuit de commande entre phase et neutre.

Cependant, étant donné qu'en Allemagne, la distribution publique est généralement du type « à mise au neutre

des masses » et qu'une borne des bobines du circuit de commande est toujours raccordée au neutre, les inconvénients montrés à la figure 1 disparaissent.

Il a été constaté que certains utilisateurs français de machines allemandes non munies d'un transformateur d'alimentation du circuit de commande raccordaient le circuit de commande (tension 220 V) sur une installation électrique d'éclairage distincte du circuit de puissance.

Rappelons qu'il peut être dangereux de raccorder le circuit de commande (ou l'enroulement primaire qui l'alimente) à une installation électriquement distincte de celle qui alimente le circuit de puissance. Seule l'interposition d'un transformateur (à 2 enroulements séparés) entre circuit de puissance et circuit de commande peut résoudre le problème.

Remarque 2 : Le circuit de commande est généralement raccordé en aval du sectionneur, un contact « de pré coupure » permettant, lors de la manœuvre d'ouverture de celui-ci, d'ouvrir le circuit de commande avant le circuit de puissance (fig. 3).

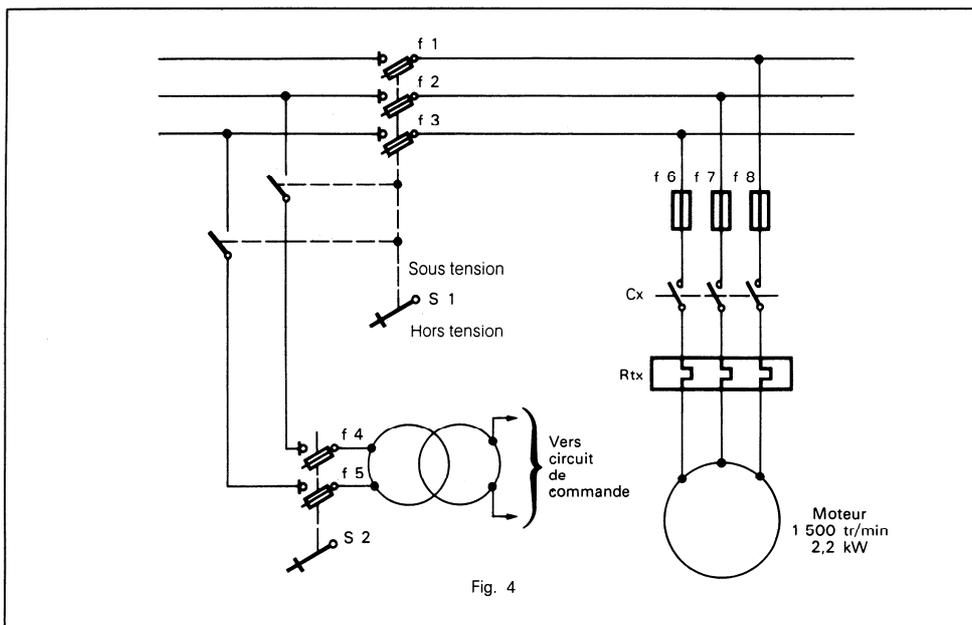
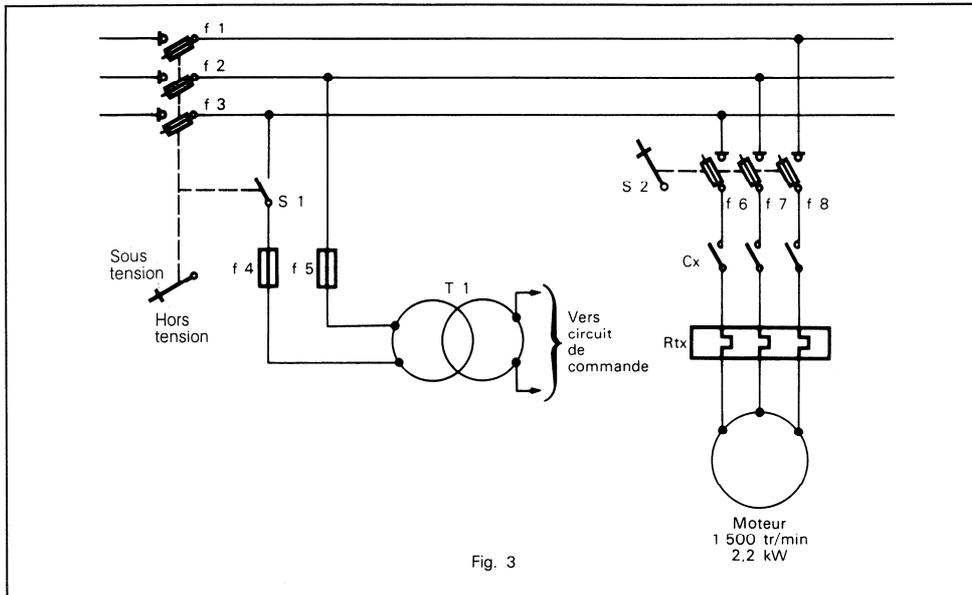
Remarque 3 : Il est parfois utile de pouvoir exécuter des interventions sur le circuit de commande resté sous tension, sans que s'effectuent les mouvements de la machine.

On y parvient de l'un ou de l'autre des manières suivantes :

a) Sans changer le mode de branchement du circuit de commande (qui reste celui que montre la figure 3), en prévoyant un moyen de sectionnement propre à chaque élément moteur (sectionneur à fusibles).

En séparant chaque élément moteur du circuit de puissance, on peut alors simuler le déroulement du cycle sans provoquer la mise en marche des éléments de puissance.

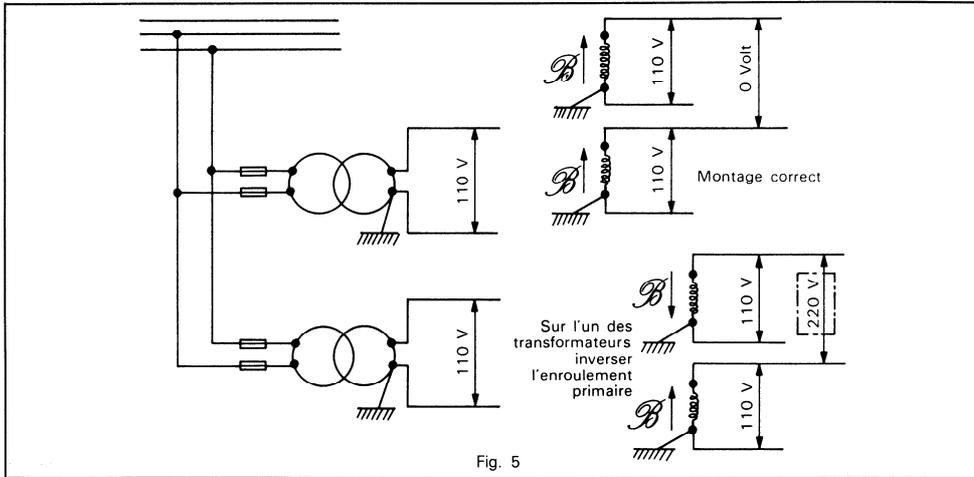
(1) Voir la légende de la figure 2, traitant d'un risque autre que le risque d'électrocution.



b) Raccorder le circuit de commande en amont d'un sectionneur à fusibles (fig. 4). Dans ce cas, les deux polarités de l'alimentation du circuit de commande doivent, chacune, être interrompues par un contact auxiliaire du sectionneur du circuit de puissance. En retirant les fusibles de ce sectionneur, on peut alimenter le circuit de commande sans alimenter le circuit de puissance. Le

circuit de commande doit alors avoir son propre dispositif de séparation de la source.

Remarque 4 : Si l'équipement comporte plusieurs transformateurs alimentant chacun une partie du circuit de commande, il importe de vérifier la phase relative des secondaires des transformateurs, qui doit être telle que la



différence vectorielle des tensions secondaires soit nulle (fig. 5). On assure ainsi la protection des dépanneurs et de leur matériel de mesure.

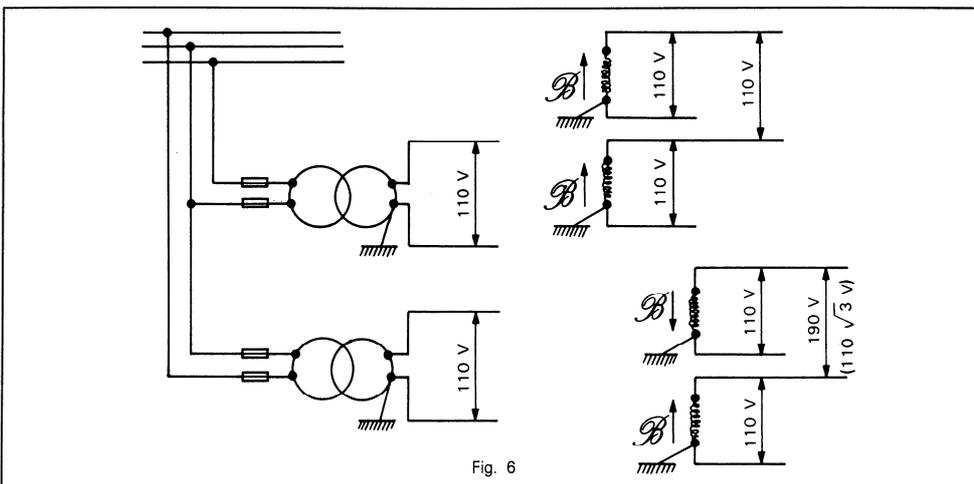
On ne doit jamais, sous prétexte d'équilibrer les charges sur les différentes phases du réseau, répartir les primaires des transformateurs sur les différentes phases, car il subsiste toujours une tension entre bornes homologues non raccordées aux masses (fig. 6).

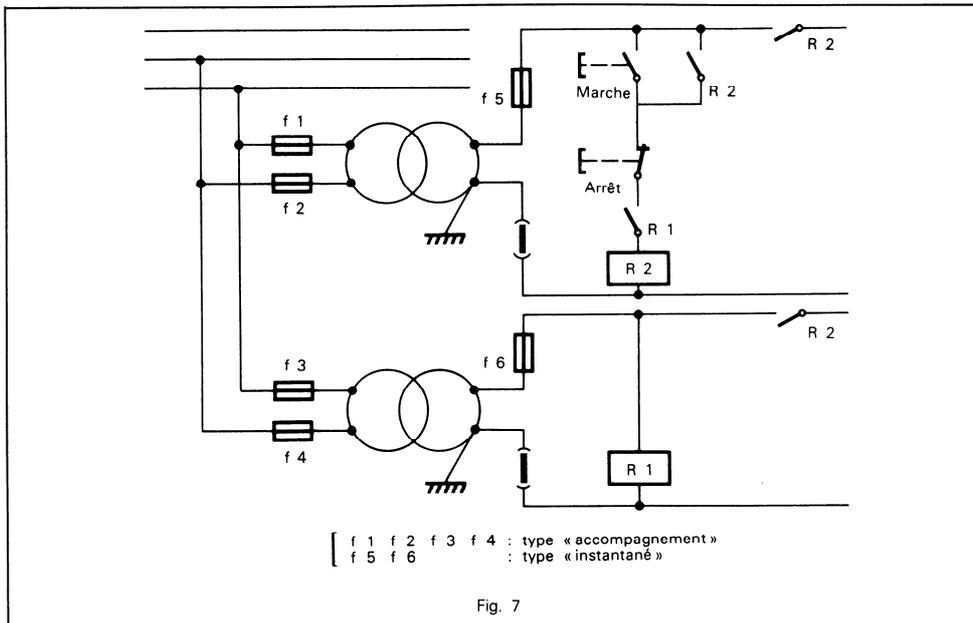
Quand il est nécessaire de prévoir plusieurs transformateurs, dont chacun n'alimente pas une partie bien distincte de la machine, il doit exister un interverrouillage par manque de tension, de sorte qu'en cas de défaut de tension sur l'un des transformateurs, les circuits de commande alimentés par les autres ne puissent rester sous tension (fig. 7).

3.3. Protection du circuit primaire du transformateur (NF C 79-130, § 7.2.3, 7.2.9 et 9.1.3)

Le primaire du transformateur est protégé par des fusibles du type « aM » plus souvent appelés « fusibles d'accompagnement ». Ces fusibles doivent avoir un pouvoir de coupure compatible avec la puissance de court-circuit de l'installation d'alimentation et permettre de laisser passer des surintensités temporaires, notamment à la mise sous tension du transformateur à vide. (Avec les transformateurs à tôles à grains orientés, on peut mesurer, pendant une demi-période des courants supérieurs à 20 fois l'intensité nominale.)

Le calibre de ces fusibles sera égal à l'intensité absorbée par le transformateur lorsqu'il délivre sa puissance nominale sous la tension nominale.





3.4. Protection des personnes contre les conséquences d'un défaut électrique

3.4.1. Protection des personnes contre les chocs électriques (NF C 79-130, § 6)

L'équipement électrique doit assurer la protection des personnes contre les contacts directs avec des parties actives sous tension et contre les contacts indirects (résultant d'une mise sous tension accidentelle d'une masse à la suite d'un défaut d'isolement).

a) Protection contre les contacts directs

Protection aux moyens d'enveloppes

Les parties actives basse tension doivent être placées à l'intérieur d'enveloppes de degré de protection (cf. norme NF C 20-010) minimal IP2X ou IPXXB (IP4X ou IPXXD pour les surfaces horizontales facilement accessibles, IP3X ou IPXXC pour les parties haute tension).

Pour déterminer complètement ce degré de protection, il est recommandé de suivre les indications de la norme NF C 15-100 (chapitre 32 et section 412).

Les degrés de protection minimaux à retenir sont précisés aux paragraphes suivants de la NF C 79-130 :

- équipements (armoires, coffrets, etc.) § 6.2.1
- appareillage de commande § 13.3
- moteurs et matériels associés § 16.2

Protection par isolation des parties actives

Les parties actives doivent être entièrement recouvertes d'une isolation qui ne puisse être enlevée que par destruction.

b) Protection contre les contacts indirects

Protection par coupure automatique de l'alimentation

Ce mode de protection est défini à l'article 413.1 de la norme NF C 15-100 et à l'article 6.3.1 de la NF C 79-130.

La mise en service de ces protections est différente suivant le type de schéma (TT, TN ou IT), mais elles reposent toutes à la fois sur le raccordement des masses au circuit de protection et sur la présence du dispositif de coupure automatique.

Protection par emploi de matériels de classe II ou à isolation équivalente (article 413.2 de la norme NF C 15-100 et article 6.3.2 de la NF C 79-130).

Ces matériels ne doivent pas être reliés à la terre.

Protection par séparation électrique

Ce type de protection est défini à l'article 413-5 de la norme NF C 15-100 et à l'article 6.3.3 de la norme NF C 79-130.

Protection par utilisation de la très basse tension de protection TBTP (article 411.1 de la norme NF C 15-100 et article 6.4 de la norme NF C 79-130)

Ce mode de protection est destiné à protéger les personnes contre les risques de contacts directs et indirects.

Il est particulièrement adapté aux circuits dont certaines parties actives ne sont pas protégées contre les contacts directs ; dans ce cas les conditions à remplir sont les suivantes :

- Conditions générales :
 - Limitation de la tension de la source d'alimentation à 25 V en alternatif ou 60 V en continu.
 - Limitation du courant, en cas de défaillance, à 1A en courant alternatif ou 0,2A en courant continu.
 - Limitation à 80 mm² des surfaces non protégées contre les contacts directs.

- Utilisation exclusive à l'intérieur dans des conditions sèches.
- La source d'alimentation et toutes les parties actives des circuits doivent être séparées ou isolées des circuits à tension plus élevée (voir 3.4.1 ci-dessus).
- Les prises de courant (fiches et socles) ne doivent pas permettre l'interconnexion de ces circuits avec d'autres non TBTP.
- Les circuits TBTP utilisés en commande ou signalisation doivent être conformes à l'article 9 de la norme NF C 79-130 (dont les prescriptions sont reprises au chapitre 3 de cette brochure).
- Conditions par rapport aux circuits de tension supérieure :
 - Isolement des conducteurs TBTP.
 - Isolement des masses TBTP ou raccordement au circuit de protection associé aux tensions supérieures (au choix).
 - Isolement de la source d'alimentation (transformateur de sécurité (1) ou une source assurant une sécurité équivalente (moteur/générateur avec enroulements présentant une séparation équivalente, piles, accumulateurs, groupe moteur thermique/générateur, etc.).
- Conditions par rapport au circuit de protection des masses associées aux tensions supérieures :
 - Raccordement d'un point du circuit TBTP à ce circuit de protection.

3.4.2. Protection des personnes contre les effets de la mise à la masse accidentelle du circuit de commande (NF C 79-130, § 9.4.3)

Le risque visé ici n'est pas le risque d'électrocution au sens de la section IV du décret du 14 novembre 1988.

L'objet de ce paragraphe est de montrer comment on peut éviter qu'en cas de mise à la masse accidentelle du circuit de commande :

- un organe de la machine se mette en marche de manière intempestive ;
- l'arrêt automatique ou intentionnel de la machine devienne impossible ;
- une ou plusieurs sécurités viennent à être éliminées par effet de shuntage entre deux mises à la masse accidentelles.

Nous avons vu au paragraphe 3.2. que les circuits de commande doivent être alimentés par un transformateur à enroulements séparés (1). Cette disposition améliore l'isolement global du réseau d'alimentation, quand il est à neutre isolé ou impédant (installation selon schéma I T) et sépare électriquement les circuits de commande des différents équipements. L'inconvénient d'une telle disposition est que les mises à la masse accidentelles d'une même polarité du circuit de commande isolé ne sont pas décelées.

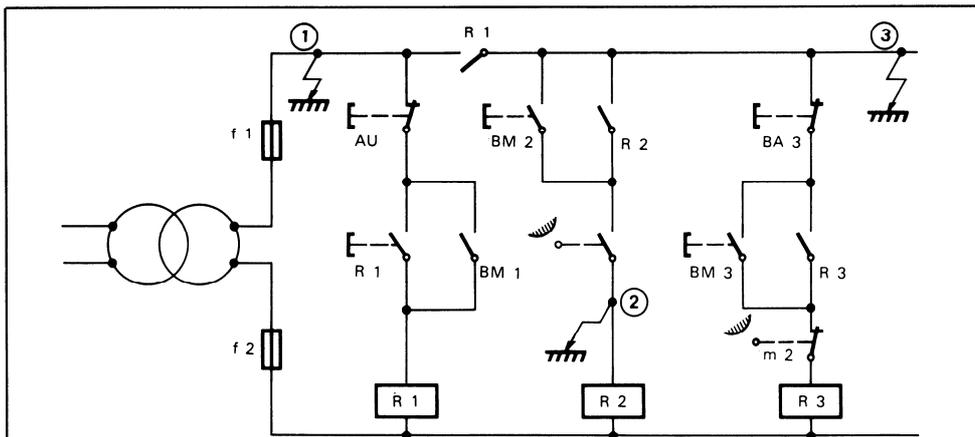


Fig. 8. - Effet sur le fonctionnement d'une machine de défauts d'isolement en différents points du circuit de commande :

Imaginons qu'un premier défaut se produise en 1. Ce premier défaut passe inaperçu : le fonctionnement de la machine n'est pas affecté.

C'est à l'apparition d'un second défaut que la sécurité des personnes se trouve compromise.

Si le second défaut apparaît en 2 :

- le relais R2 est instantanément mis sous tension, indépendamment de l'état des contacts R2, BM2, m1 ;
- il devient impossible de mettre hors tension le relais R2 par action sur le bouton d'arrêt d'urgence.

Si le second défaut apparaît en 3, il devient impossible d'obtenir un arrêt d'urgence (l'ouverture de R1 étant alors sans effet).

On peut, à titre d'exercice, examiner les conséquences de l'apparition d'un second défaut d'isolement en d'autres points du circuit de commande.

(1) NF EN 60742 (indice de classement : C 52-742).

Pour remédier à cet inconvénient, et du même coup, faire disparaître les risques mis en évidence à la figure 8, on dispose de deux moyens conformes à la réglementation (cf. 2.1.3.).

a) Coupure au premier défaut (fig. 9)

C'est l'option retenue dans la plupart des industries, à l'exception de la sidérurgie ; elle est traitée en détail dans cette brochure :

- sur une polarité, on a créé un « point commun » entre toutes les bobines des relais et des contacteurs. Tous les contacts dont dépend l'alimentation de chaque bobine sont placés entre la bobine et l'autre polarité. Cette disposition est absolument impérative ;
- sur la polarité à laquelle est directement raccordée une borne de chaque bobine, on a réalisé intentionnellement un premier défaut en reliant directement cette polarité à la masse.

Ainsi (fig. 9) :

- toute mise à la masse accidentelle (1) de la polarité à laquelle est raccordée directement une borne de chaque bobine ne présente aucun inconvénient du fait qu'il s'agit d'un circuit équipotentiel sans coupure ;
- toute mise à la masse accidentelle (2) de la polarité sur laquelle s'effectuent les commutations provoque la mise en court-circuit du secondaire du transformateur, ce qui entraîne :
 - avec une forte probabilité, le fonctionnement du dispositif de protection,
 - à coup sûr, la retombée des contacteurs et relais, si le dispositif de protection ne fonctionne pas.

b) Coupure différée jusqu'à l'apparition d'un second défaut (fig. 10)

Dans les installations importantes, dans les cas d'impossibilité pour des raisons très particulières de sécurité (1), ou pour sauvegarder des pièces de grande valeur qui seraient détruites par un arrêt de la machine au cours d'une passe d'usinage, on peut réaliser un circuit de commande dans lequel, entre les bornes de chaque bobine et les deux polarités du circuit de commande, les contacts sont disposés symétriquement par rapport à la bobine.

Il est alors impératif :

- de ne relier aucun point du circuit de commande à la masse,
- de contrôler en permanence la valeur de l'isolement du circuit de commande, de sorte que le premier défaut soit signalé, et « gardé en mémoire » dès son apparition, même fugitive.

Cas particuliers : circuits comprenant des bobines à courant alternatif et des bobines à courant continu

On est parfois amené à associer, dans un même circuit de commande, des relais à courant continu et des relais à courant alternatif. Lorsque les tensions nominales de leurs bobines le permettent, la tendance naturelle est de les alimenter à partir d'une même source de courant alternatif (l'enroulement secondaire d'un transformateur), les bobines à courant continu étant alimentées par un pont redresseur « double alternance », comme l'indique la figure 11.

(1) Exemple : transfert de poches de coulées en aciérie.

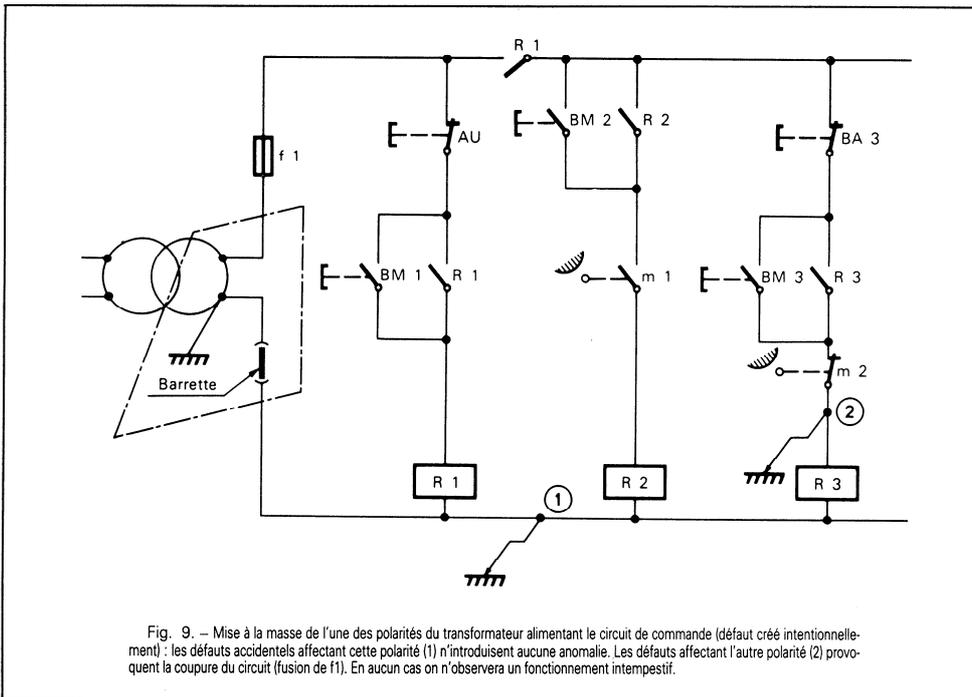
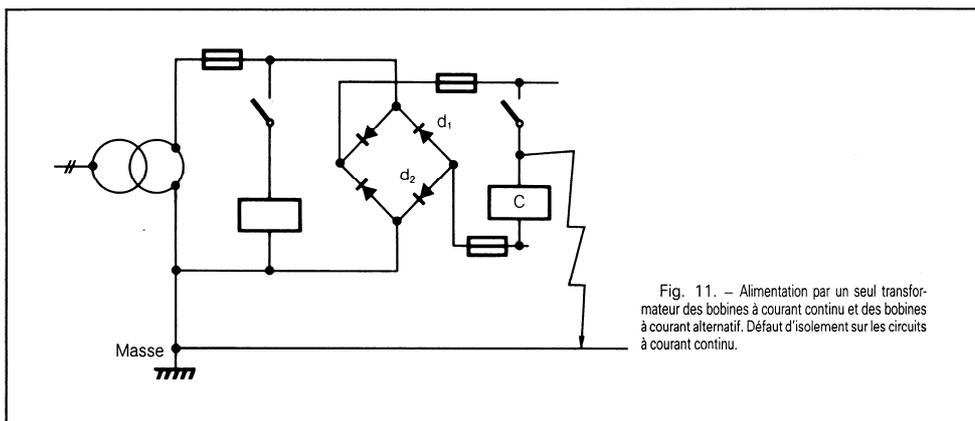
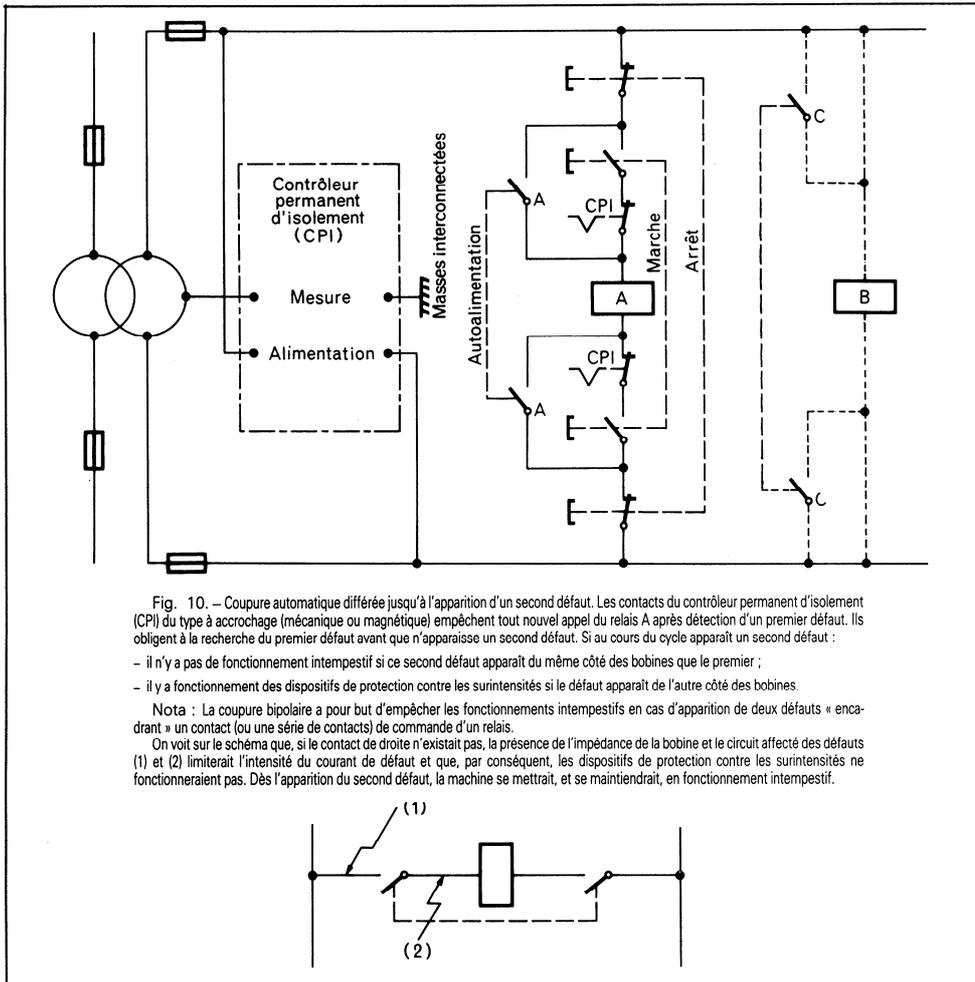


Fig. 9. - Mise à la masse de l'une des polarités du transformateur alimentant le circuit de commande (défaut créé intentionnellement) : les défauts accidentels affectant cette polarité (1) n'introduisent aucune anomalie. Les défauts affectant l'autre polarité (2) provoquent la coupure du circuit (fusion de f1). En aucun cas on n'observera un fonctionnement intempestif.



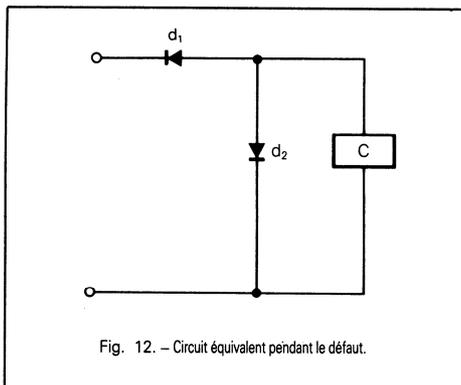
Cette disposition peut être, comme on va le montrer dans ce qui suit, à l'origine de cas de fonctionnement intempestif.

Supposons qu'un défaut franc apparaisse entre le contact ouvert et la bobine à courant continu d'une part et la masse d'autre part :

- pendant l'alternance positive, favorable à la conduction de la diode d_1 , un courant s'établit entre la polarité du transformateur reliée à la masse et l'autre polarité, à travers :
 - la masse,
 - le défaut,
 - la bobine C du relais,
 - la diode d_1 du pont redresseur ;
- pendant l'alternance négative, l'énergie précédemment emmagasinée dans l'« inductance » que constitue la bobine C du relais se libère, un courant circule à travers :
 - la diode d_2 du pont,
 - la masse,
 - le défaut.

Les diodes d_1 et d_2 forment, avec la bobine, le circuit équivalent représenté par la figure 12, le diode d_2 jouant le rôle d'une diode de « roue libre » pour la bobine C.

La tension aux bornes de la bobine C et le courant qui la traverse sont représentés à la figure 13.



La bobine C est alimentée sous une tension redressée moyenne voisine de 50 V, suffisante, dans certains cas (dépendant de la conception du matériel), pour provoquer l'« appel » du relais, donc le déclenchement intempestif d'un mouvement de la machine.

Pour se prémunir contre les fonctionnements intempestifs en cas de défaut d'isolement sur les circuits à courant continu on peut, à condition de supprimer la liaison à la masse des bobines à courant alternatif, relier à la masse les bobines à courant continu, ainsi que le montre la figure 14. Mais, avec cette disposition, il apparaît un risque de fonctionnement intempestif en cas de défaut d'isolement dans le circuit des relais à courant alternatif.

Si la coupure peut être différée jusqu'à l'apparition d'un deuxième défaut (cf. § 3.4. b ci-dessus) et si la partie « courant alternatif » du schéma est conçue suivant le principe montré à la figure 10, l'enroulement secondaire du transformateur ne doit, en aucun cas, alimenter des bobines à courant continu à travers un pont redresseur. En effet, avec un schéma tel que celui de la figure 15, certains défauts d'isolement peuvent compromettre l'efficacité du contrôleur permanent d'isolement (CPI) :

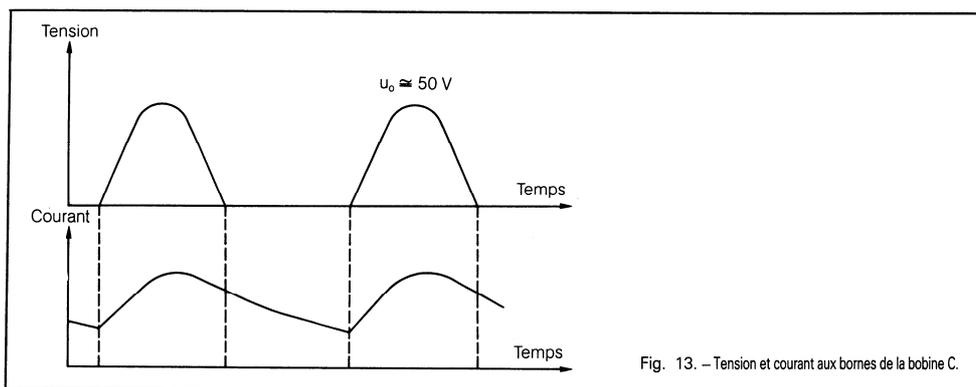
- si le premier défaut se produit en X après fermeture du contact a, chaque demi-enroulement du secondaire du transformateur devrait produire dans le circuit de mesure du CPI pendant chaque alternance, à travers les diodes, un courant allant de la borne « masse » à la borne « neutre » de cet appareil. Or, ce circuit de mesure comportant toujours un condensateur, aucun courant ne s'établit à travers lui. Le CPI est totalement désensibilisé. Le premier défaut n'est pas signalé ;
- si le premier défaut se produit en Y, on se trouve sans le savoir dans les conditions de la figure 14, donc dans une situation dangereuse.

En conclusion

Lorsqu'il est nécessaire de mettre en œuvre des appareils fonctionnant sous une tension continue obtenue au moyen d'un pont redresseur et des appareils fonctionnant sous une tension alternative, il ne faut en aucun cas alimenter directement les deux parties correspondantes du circuit à partir d'une source commune.

Il est donc indispensable de mettre en œuvre deux transformateurs distincts, ainsi que l'indique la figure 16.

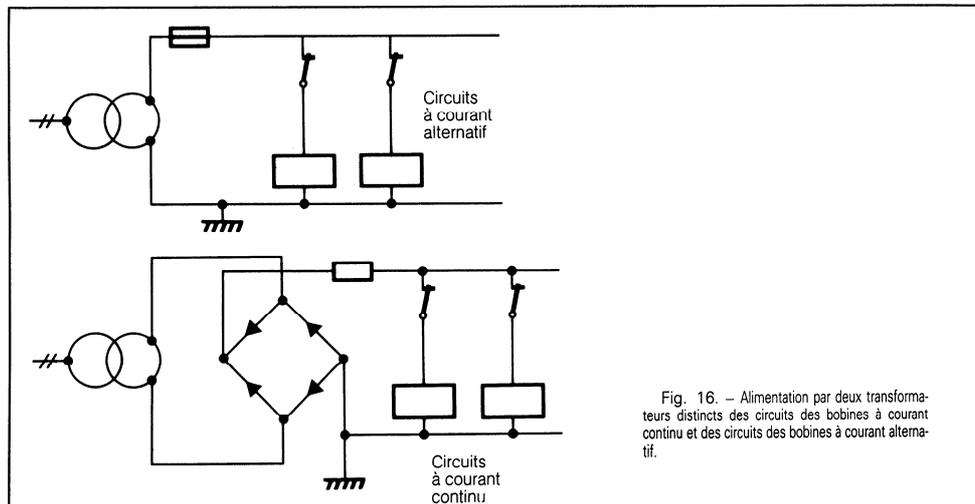
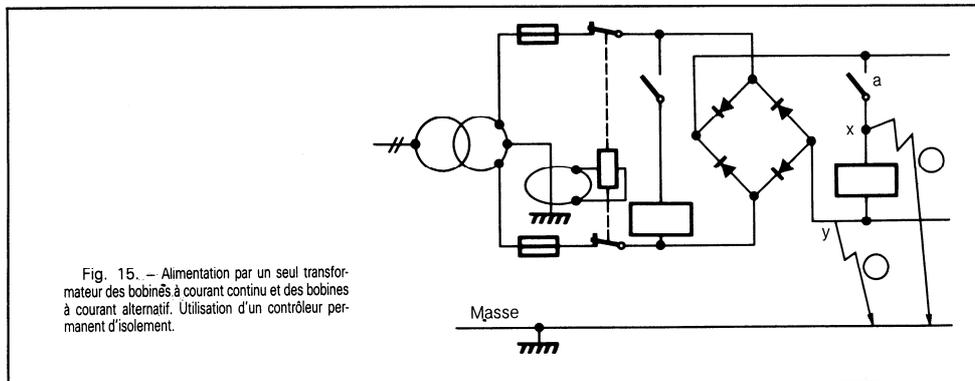
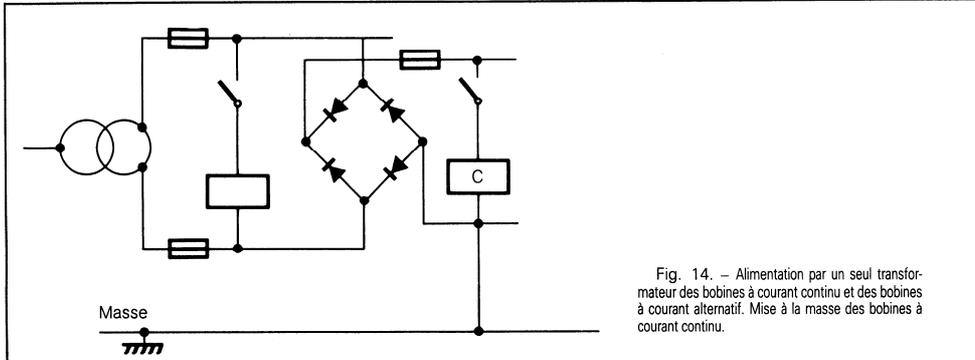
Les liaisons entre transformateur et redresseur devront être très courtes et conçues pour supporter des surintensités passagères, afin de réduire la probabilité d'apparition



d'un défaut sur ce tronçon de circuit à courant alternatif.

Afin d'éliminer le risque de fonctionnement intempestif (mise en marche intempestive de la machine ou impossibilité de l'arrêter), on appliquera à chaque partie du circuit la disposition de protection exposée au § 3.4.a ci-dessus.

Pour la partie du circuit « à courant continu », cela impliquera qu'à la sortie du pont redresseur, une polarité (celle à laquelle est directement reliée une borne de chaque bobine) soit reliée à la masse, et que l'autre polarité soit munie d'une protection par fusible du type gl.



L'alimentation de bobines à courant continu par redresseur mono-alternance sur le même circuit que des bobines à courant alternatif reste possible (cf. fig. 17) puisque le redressement « simple alternance » ne présente pas les inconvénients, mis en évidence ci-dessus, liés à l'emploi d'un pont redresseur.

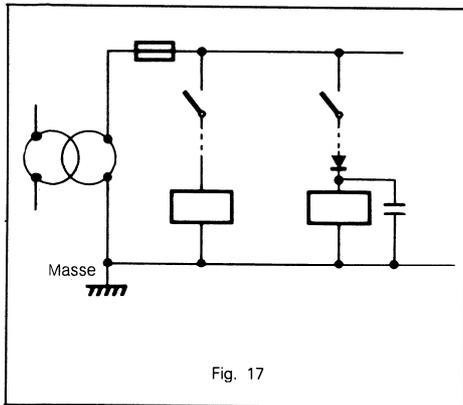


Fig. 17

3.5. Protection du secondaire du transformateur alimentant le circuit de commande contre les surintensités (NF C 79-130, § 7.2.3)

3.5.1. Protection contre les courts-circuits

Dans la disposition choisie le plus souvent dans la pratique (coupure au premier défaut), tous les défauts d'isolement ont pour effet une mise en court-circuit du secondaire du transformateur.

La protection du secondaire du transformateur est assurée par un fusible disposé sur la polarité non reliée à la masse.

Si cette polarité alimente plusieurs circuits d'utilisation distincts, il y a lieu de mettre un fusible par circuit.

Aucun fusible ne doit être placé sur la polarité reliée à la masse. Seule, une barrette de sectionnement (tronçon de tube de cuivre monté sur une embase de coupe-circuit ou barrette du type « de neutre ») permettra d'interrompre le circuit de commande pour la recherche d'un défaut d'isolement ou le contrôle des degrés d'isolement du circuit (cf. planche B, solutions 1 et 2 montrant deux variantes pour la position de cette barrette).

3.5.2. Protection contre les surcharges

Pour les circuits de commande et de signalisation, la protection contre les surcharges n'est pas exigée.

3.6. Mise sous tension du circuit de commande

Cette fonction est assurée par un relais communément appelé « relais de mise sous tension » (fig. 18).

Outre la mise sous la tension (ou hors tension) du circuit de commande de la machine, commandée volontairement (lorsqu'une machine n'est pas en service, aucun organe électrique – relais, contacteur, etc. – ne doit rester sous tension), ce relais assure :

a) la protection « à manque de tension » (1)

Il s'agit, en effet, d'un relais auto-alimenté (contact ③).

Après une période d'interruption de la tension aux bornes de l'installation de distribution, il ne rétablira la tension aux bornes du circuit de commande que si l'on appuie sur le bouton « mise sous tension » ; en application de l'article R. 233-96 (1^{er} tiret) du Code du travail, la protection « à manque de tension » doit être assurée sur toutes les machines de puissance supérieure à 750 W et qui font partie de l'une des catégories citées à l'article R. 233-83. Il est vivement recommandé d'étendre l'application de cette disposition à toutes les machines, quelle que soit leur puissance, dont la mise en marche spontanée pourrait provoquer un accident. La protection « à manque de tension » exclut l'emploi, pour la mise en marche, d'interrupteurs à deux positions stables.

b) la vérification de l'état de certains relais

Les relais qui, pendant le fonctionnement de la machine, ne changent pas d'état (excité ou désexcité) doivent être vérifiés à l'état désexcité, en l'absence de tension (cas des relais de sélection de marche).

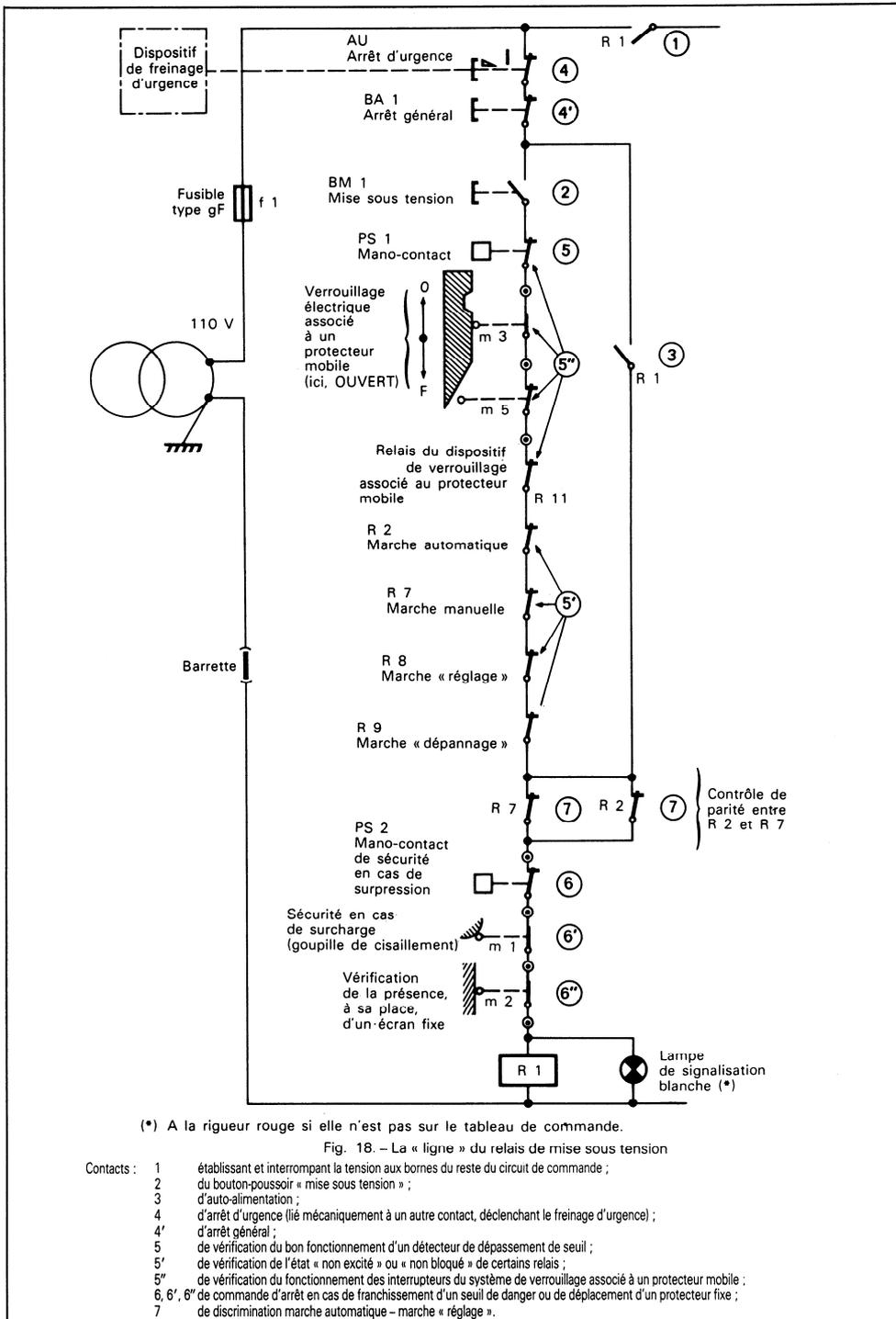
A cette fin, un contact à couverture de chaque relais à vérifier est inséré dans la ligne d'alimentation du relais de mise sous tension, en parallèle avec le contact d'auto-alimentation ③ (fig. 18, contacts ⑤) ;

c) la prise en compte de l'état des détecteurs à seuil

- Pour empêcher la mise sous tension quand :
 - un détecteur à seuil n'est pas revenu à l'état dans lequel il doit se trouver pendant les périodes d'arrêt de la machine (fig. 18, contact ⑤),
 - les interrupteurs du dispositif de verrouillage associé à un protecteur mobile ne sont pas dans l'état correspondant normalement à la position « ouvert » du carter et à l'absence de tension (fig. 18, contact ⑥) ;
- Pour déclencher l'arrêt général quand :
 - un paramètre atteint une valeur dangereuse pendant le fonctionnement de la machine (fig. 18, contacts ⑥, ⑥', ⑥''),
 - un des relais de sélection « marche manuelle-marche automatique », ne se trouve pas dans l'état correspondant à la position du sélecteur de commande (fig. 18, contact ⑦).

L'opérateur encourt des risques très importants si, le commutateur de choix de mode de marche ayant été placé sur « marche manuelle », le relais de marche automatique est resté dans la position de travail, par « collage ». (Bien que le relais de marche manuelle soit excité, la machine fonctionnerait alors suivant le mode automatique.)

(1) Ou, dans certains cas, la protection « à minimum de tension », pour éviter l'appel et la retombée désordonnés des relais ou contacteurs (technique utilisée pour certains ascenseurs).



3.6.1. Commande d'arrêt général. Commande d'arrêt d'urgence
(NF C 79-130, chapitre 9)

3.6.2. Les deux catégories de dispositifs détecteurs de sécurité

Dans l'ensemble des dispositifs détecteurs dont dépend la sécurité du matériel et des personnes, il faut bien distinguer :

a) les dispositifs passifs

Dispositifs détecteurs dont le changement d'état est provoqué par l'apparition accidentelle de conditions préjudiciables à la sécurité du personnel ou à la sûreté de fonctionnement du matériel.

Exemples :

- Dispositifs détectant le dépassement d'un seuil :
 - interrupteur de dépassement de course normale sur appareils de levage, machines-outils (interrupteurs dits « de surcourse ») ;
 - dispositifs de protection thermique des moteurs électriques ;
 - pressostats détectant une surpression dans un circuit hydraulique ;
 - dispositifs détectant la rupture d'une goupille de cisaillement.
- Dispositifs détectant la présence d'un protecteur fixe (1).

(1) On entend par « protecteur fixe » tout protecteur lié immuablement à une machine, ou qui ne peut être déplacé sans qu'on ait à effectuer un démontage à l'aide d'outils.

Ces dispositifs ne changent d'état que si un incident de fonctionnement ou, plus généralement, un écart par rapport aux conditions normales du fonctionnement vient à se produire.

Leur état est indépendant de la mise sous tension de la machine. Leur action est indépendante du mode de fonctionnement (manuel, automatique... cf. 3.7) choisi.

En général, leur action entraîne l'arrêt général, par désexcitation du relais de mise sous tension, mais, dans certains cas, elle peut n'entraîner que l'arrêt de la partie de la machine où est apparu un risque.

Remarque

- La vérification du bon fonctionnement de ces dispositifs passifs ne peut se faire qu'à l'occasion de visites préventives ; il y a lieu d'être sévère dans le choix et la définition de ces matériels.
- Leur montage doit être tel qu'en marche normale soit établi le contact électrique permettant le passage du courant, afin que soit décelée toute coupure éventuelle du circuit électrique (protection positive).

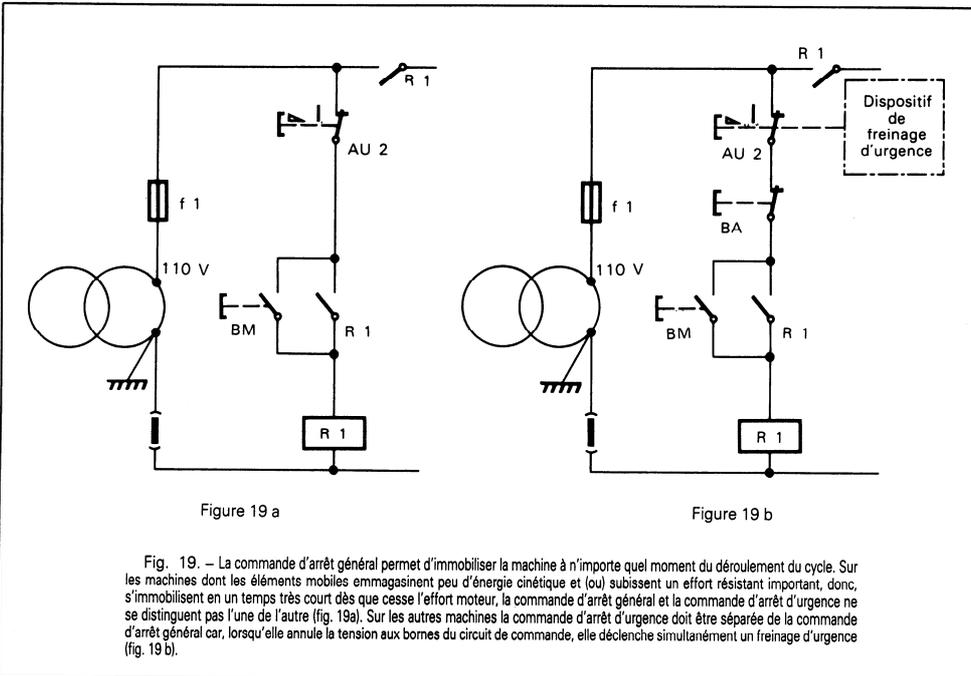
b) les dispositifs actifs

Dispositifs vérifiant l'existence d'un état ou d'une condition nécessaire à la sécurité des personnes ou à la sûreté de fonctionnement du matériel et qui, dans les conditions normales de ce fonctionnement, changent d'état à chaque cycle ou, au moins, à la mise sous tension de l'équipement.

Cette dernière propriété facilite la vérification automatique (auto-surveillance) de leur fonctionnement.

Exemples :

- Dispositifs de verrouillage ou d'interverrouillage associés à des protecteurs mobiles.



Pour les appareils détectant un changement d'état qui se produit au moins une fois au cours de chaque cycle, la prise en compte de chacun des deux états sous forme d'informations binaires est nécessaire pour le déroulement du cycle en toute sécurité.

- Manostat ne permettant la mise en marche de la broche d'une machine-outil que si le vérin du mandrin pneumatique est alimenté sous une pression suffisante.

C'est au moment de la mise sous tension que doit être vérifié l'état « repos » des dispositifs détectant un changement d'état se produisant à la mise en marche de la machine (fig. 18, contact ⑤).

Le changement d'état d'un dispositif de sécurité passif correspondant, en principe, à l'apparition d'une anomalie, doit avoir pour effet de désexciter le relais de mise sous tension (fig. 18) ou d'ouvrir directement le circuit de puissance (cf. appareils de levage en cas de dépassement de la course normale).

Au contraire, le changement d'état d'un dispositif de sécurité actif qui accompagne la disparition des conditions

permettant le fonctionnement de la machine doit avoir pour effet d'arrêter le cycle en cours sans pour autant mettre le circuit de commande hors tension. Dans certains cas, l'arrêt pourra même être différé jusqu'à la fin du cycle en cours (cas où le fonctionnement de la machine n'est dangereux que pendant une phase du cycle et où l'on ouvre un protecteur après la fin de la phase dangereuse).

3.7. Sélection des différents modes de fonctionnement

Les différents modes de fonctionnement d'une machine sont souvent appelés « marches ».

Tous les exemples de ce chapitre illustrent les modes de fonctionnement (marches) les plus courants.

Dans la pratique, de nombreuses variantes aux schémas présentés peuvent être imaginées en fonction des exigences propres à chaque cas particulier.

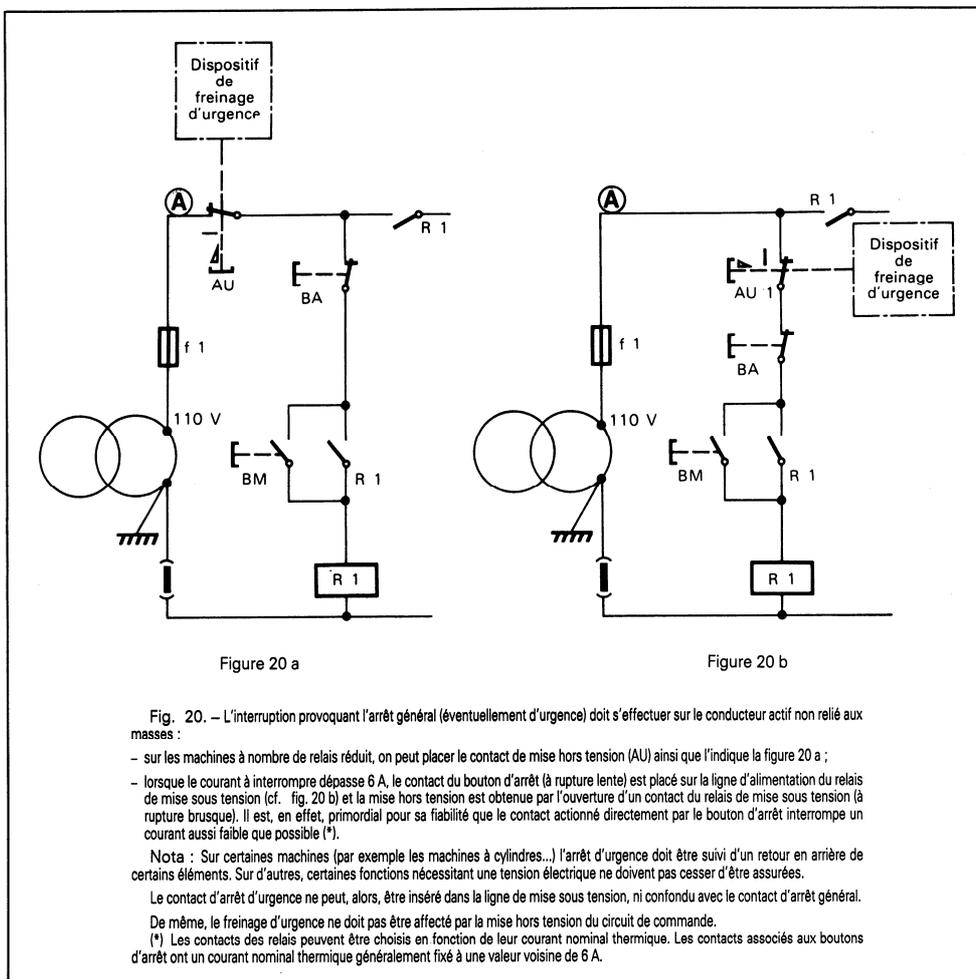
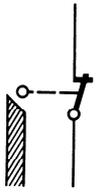
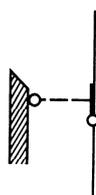
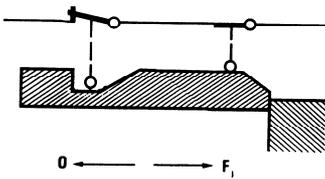
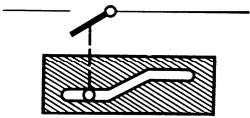


TABLEAU I

MODES D'UTILISATION DES INTERRUPTEURS DE POSITION À COMMANDE MÉCANIQUE DANS DES DISPOSITIFS DÉTECTEURS « DE SÉCURITÉ »		
MODES DE LIAISON ENTRE UNE CAME (OU UNE RAMPE) ET LE POUSSOIR D'UN INTERRUPTEUR		
Liaison	Positive à l'ouverture (négative à la fermeture)	Négative à l'ouverture (positive à la fermeture)
		
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> – Ouverture « forcée » du contact – Pas de refermeture possible par action directe sur le poussoir, lorsque la came agit sur lui (fraude impossible) 	Le contact s'ouvre (et assure donc la sécurité) si les caractéristiques géométriques de l'ensemble came-poussoir ont changé (cas particulier : absence de l'organe portant la came ou la rampe)
Inconvénients	Le contact peut ne pas s'ouvrir en cas d'usure anormale du galet ou de déplacement relatif came-galet.	Le contact risque de rester fermé en cas de « collage » des contacts ou de rupture du ressort. Lorsque le poussoir n'est pas actionné par la came, on peut agir sur lui pour fermer le contact (fraude ou action intempestive).
<p>Lorsque la sécurité est assurée par l'ouverture d'un circuit (cas général), il découle de ce qui précède que l'association en série d'un contact à ouverture (O) et d'un contact à fermeture (F) de deux interrupteurs différents (actionnés comme l'indique le schéma ci-dessous) présente les avantages (cumulés) des deux montages ci-dessus, sans en avoir les inconvénients.</p> 		
<p>Nota :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Bien que ce mode de liaison soit plus particulièrement adapté aux distributeurs hydrauliques ou pneumatiques, il est possible de concevoir un dispositif détecteur dans lequel l'interrupteur électrique soit actionné suivant le mode positif à l'ouverture comme à la fermeture (cf. schéma ci-dessous). 		
<ul style="list-style-type: none"> – Lorsqu'ils sont utilisés dans des dispositifs passifs, les interrupteurs de position ne doivent, en aucun cas, être relayés. Les contacts représentés en 6, 6' et 6'' (fig. 18) sont les contacts propres aux interrupteurs. <p>Il n'est, d'ailleurs, pas exclu qu'il en soit de même des contacts d'interrupteurs utilisés dans des dispositifs actifs (cf. contacts 5'', m3 et m5 de la figure 18).</p>		

3.7.1. Marche manuelle. Marche automatique

Ces deux modes de fonctionnement sont à la base de toutes les sélections (tableau II).

TABLEAU II

MODES DE FONCTIONNEMENT			
AUTOMATIQUE		MANUEL	
« Cycle par cycle » Chargement automatique	Chargement manuel	« A la volée » Chargement automatique seulement	« Réglage » (certaines sécurités peuvent être neutralisées)

- En marche manuelle, une personne commande chaque opération (chaque phase) du cycle.
- En marche automatique, seul le démarrage de chaque cycle (éventuellement du premier cycle dans le cas particulier de la marche « à la volée ») est commandé par un opérateur, la succession des mouvements s'effectuant d'une manière automatique.

On peut rattacher au fonctionnement automatique le mode de fonctionnement (dit parfois « semi-automatique ») dans lequel certaines séquences s'enchaînent automatiquement et d'autres sont commandées par un opérateur.

Si la machine a été conçue et construite pour son utilisation selon plusieurs modes de commande ou de fonctionnement présentant des niveaux de sécurité différents, tels que les modes de fonctionnements permettant le réglage, l'entretien, l'inspection, elle doit être munie d'un sélecteur de mode de marche verrouillable dans chaque position. Chaque position du sélecteur ne doit correspondre qu'à un seul mode de commande ou de fonctionnement.

Le sélecteur peut être remplacé par d'autres moyens de sélection permettant de limiter l'utilisation de certaines fonctions de la machine à certaines catégories d'opérateurs, tels que codes d'accès à certaines fonctions de commandes numériques.

En marche manuelle, le (les) bouton(s) de départ du cycle de la marche automatique est (sont) inefficace(s). Inversement, en marche automatique, les boutons de marche manuelle sont inefficaces.

A chaque mode de fonctionnement correspondent un ou plusieurs relais, suivant le nombre des contacts nécessaires. Cette technique est préférable à celle qui utilise des commutateurs spéciaux « à paquets » ou à « galettes », particulièrement difficiles à remplacer en cas d'avarie. Elle présente en outre d'incontestables avantages pour la sécurité du personnel et du matériel.

En effet :

- le relais de marche automatique est alimenté à travers un contact « repos » (à ouverture) du relais de marche manuelle (fig. 21). Ceci constitue un premier moyen d'éviter un fonctionnement automatique pendant une phase de marche manuelle ;
- un autre moyen de discrimination des modes de fonctionnement est fourni par les contacts ⑦ de la figure 18 : si, lors du passage de la marche automatique à la marche manuelle, le relais R2 est resté bloqué dans l'état « travail », (engendrant ainsi un risque très grave pour l'opérateur qui, croyant travailler en marche manuelle, peut être surpris par le déclenchement automatique d'un mouvement), le relais de mise sous tension est désexcité : la machine ne peut plus fonctionner ;

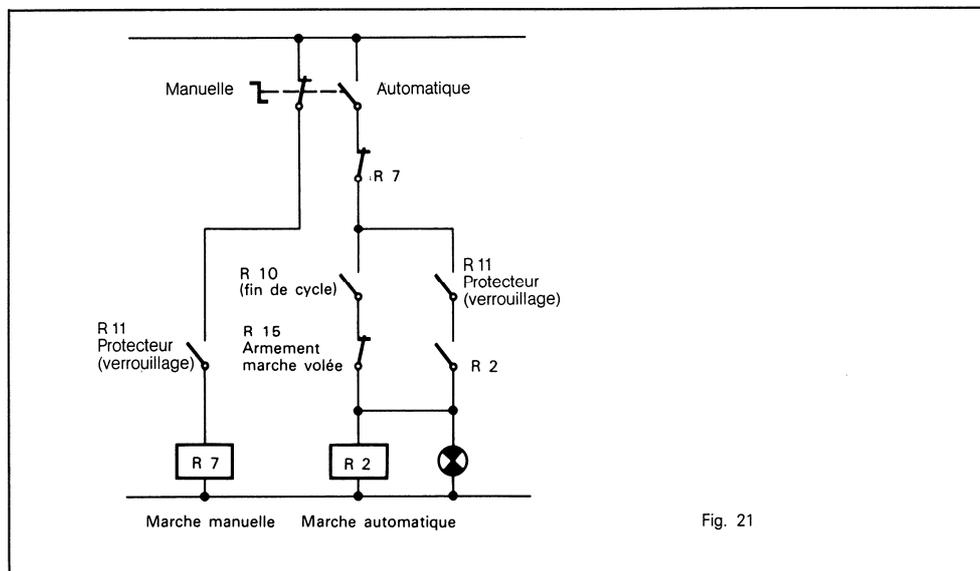


Fig. 21

- l'appel du relais de marche automatique (fig. 21) n'est possible que lorsque les conditions de départ du cycle sont réunies (contact R10 fermé ; cf. § 3.8.) et si le relais d'armement de la marche à la volée », cf. § 3.9.4.) n'est pas resté bloqué (contact R15 fermé). Les contacts en série R11 (vérification de la fermeture des carters de protection) et R2 (auto-alimentation du relais R2) se substituent, dès l'appel de R2, aux contacts de vérification R10 et R15. Une lampe-témoin signale que la machine se trouve dans les conditions de la marche automatique.

dans la « ligne » du relais commandant chaque mouvement (cf. fig. 19) un contact à fermeture du relais de marche automatique conditionne ce mouvement en marche automatique. De même, un contact à fermeture du relais de marche manuelle rend efficace, lorsqu'il est fermé, l'action sur le bouton-poussoir de commande de chaque mouvement.

En aucun cas, ces contacts à fermeture ne doivent être remplacés par des contacts à ouverture du relais correspondant à l'autre mode de fonctionnement.

- l'emploi de plusieurs relais pour la sélection « marche automatique » implique que le premier relais appelé entraîne l'appel du deuxième et ainsi de suite, le dernier relais assurant l'auto-alimentation.

- la spécialisation de deux lignes de distribution, alimentées chacune à travers un contact du relais commandant un mode de fonctionnement, et alimentant chacune le circuit intervenant dans le mode de fonctionnement correspondant, est à proscrire formellement. Le schéma montre que cette disposition permet l'alimentation d'un circuit à travers l'autre (fig. 22).

Dans l'exemple traité (cf. planche A), imaginons que la machine soit en cours de fonctionnement automatique avec chargement automatique.

Le cycle est en cours et les mouvements suivants ont été effectués :

1. - avance du chargeur,
 2. - serrage de la pince,
 3. - recul du chargeur,
- le 4^e mouvement (avance du transfert) est en cours ;

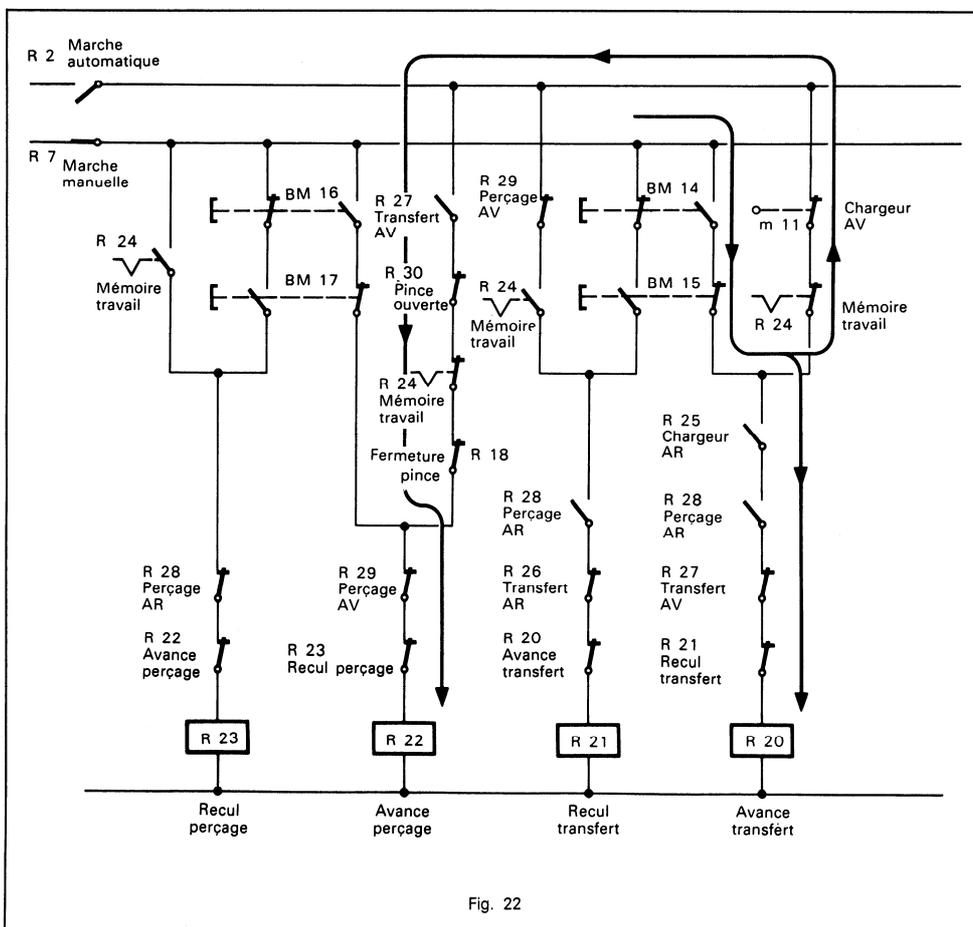


Fig. 22

- à ce moment, pour une cause quelconque, l'opérateur appuie sur le bouton d'arrêt d'urgence ;
- la machine s'arrête pendant l'avance du transfert ;
- après avoir remédié à la cause pour laquelle il a commandé l'arrêt d'urgence, l'opérateur remet la machine sous tension ;
- il passe le sélecteur sur « marche manuelle » pour remettre la machine en position d'origine ;
- il appuie sur le bouton-poussoir BM 14 afin que se poursuive l'avance du transfert ;
- cette action appelle le relais R20 (avance transfert) mais, au travers des contacts R24 et m 11, la tension est appliquée sur la ligne de marche automatique, ce qui aura pour effet de provoquer l'avance de la tête de perçage dès que le transfert sera en position avancée. Ainsi, la machine effectuera le cycle complet ;
- *Conclusion.* L'avance imprévue (non commandée par l'opérateur) de la tête de perçage risque de provoquer un accident.

3.7.2. Marche « à la volée », Marche « cycle par cycle » (deux variantes de la marche automatique)

En marche « à la volée », l'opérateur commande le départ du premier cycle. Les cycles se succèdent ensuite automatiquement aussi longtemps qu'aucun ordre d'arrêt n'est donné.

En marche « cycle par cycle », le démarrage est commandé par l'opérateur et l'arrêt, en fin de cycle, est commandé automatiquement.

Un commutateur permet la sélection « marche à la volée-marche cycle par cycle » (fig. 23) en alimentant l'un ou l'autre des relais R3 et R4. En toute rigueur, le relais R4 n'est pas indispensable, la marche « cycle par cycle » étant obtenue par simple désexcitation du relais R3 (1).

Cas particulier de la marche automatique, la marche à la volée n'est obtenue que lorsque le relais de marche automatique (R2) et le relais de marche à la volée (R3) sont excités.

Le relais de marche automatique possède toutes les caractéristiques exposées au § 3.7.1. Le relais de marche à la volée n'intervient que sur les conditions de départ de cycle (cf. § 3.9.).

3.7.3. Chargement automatique. Chargement manuel (fig. 24)

Sur certaines machines, le cycle automatique peut comprendre l'alimentation (mise en place de la pièce brute) et l'évacuation de la pièce usinée ; c'est, en général, le cas des machines fonctionnant à la volée.

Sur d'autres machines, le cycle automatique ne comprend que la partie au traitement du produit, l'opérateur réalisant manuellement les opérations de charge-

(1) En fait, les deux contacts R3 et les deux contacts R4 placés sur les lignes d'alimentation de R2 interrompent l'alimentation de ce relais, si, par accident, les relais R3 et R4 se trouvent simultanément dans le même état. Pour éviter d'arrêter la machine en cours de cycle pour une raison autre que l'apparition d'un risque (par exemple en cas de défaillance du relais R4), l'ensemble des deux contacts R4, déjà cité est shunté, pendant la durée du cycle, par le contact R10.

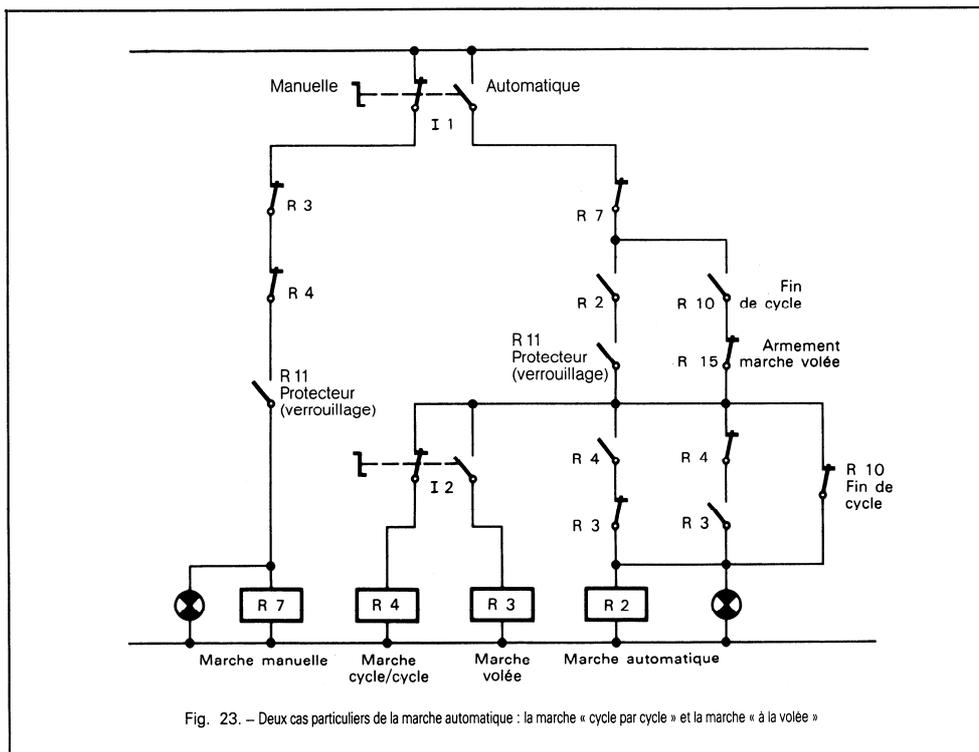


Fig. 23. - Deux cas particuliers de la marche automatique : la marche « cycle par cycle » et la marche « à la volée »

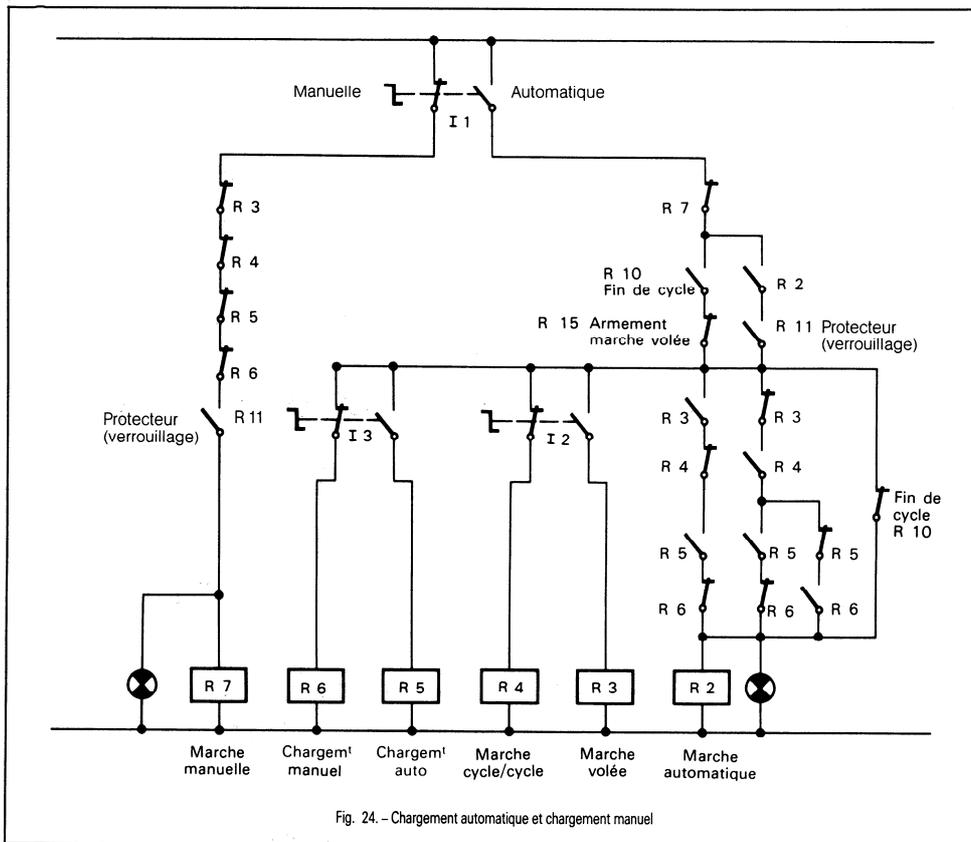


Fig. 24. - Chargement automatique et chargement manuel

ment (alimentation) et de déchargement (évacuation). Enfin les deux possibilités – chargement automatique ou chargement manuel – peuvent être offertes par la même machine.

Le tableau II montre comment les deux modes de chargement se trouvent, en général, associés au mode de fonctionnement. Le chargement manuel est, le plus souvent, incompatible avec la marche à la volée.

De même que pour la sélection « marche à la volée » – « marche cycle par cycle » (cf. 3.7.2.), un relais est affecté à chaque mode de chargement (R5, R6).

Les contacts R5 et R6 placés sur les lignes d'alimentation du relais de marche automatique R2 :

- empêchent tout fonctionnement si les commutateurs sont simultanément dans les positions « marche à la volée » et « chargement manuel » ;

- vérifient le fonctionnement des relais R5 et R6.

La sélection « chargement automatique – chargement manuel » place l'origine du cycle :

- soit en coïncidence avec le premier mouvement du dispositif de chargement (chargement automatique),

- soit en coïncidence avec le premier mouvement d'organe faisant partie du cycle de traitement du produit (chargement manuel).

On notera que l'organe de déclenchement du cycle en marche à la volée peut être confondu avec celui qui assure le déclenchement de la marche cycle par cycle avec chargement automatique.

3.7.4. Marche « réglage » (fig. 25)

Sur certaines machines, la marche manuelle ne permet pas d'effectuer commodément tous les réglages. On est alors obligé de concevoir une variante de la marche manuelle mieux adaptée aux exigences du réglage, et que l'on appelle communément marche « réglage ».

La principale différence entre ces deux variantes d'un même mode de fonctionnement réside dans le fait qu'en marche « réglage », et dans ce cas seulement, les dispositifs de protection qui, dans tous les autres modes de fonctionnement, interdisent l'accès aux zones dangereuses, sont parfois rendus inefficaces afin que soient possibles certaines interventions.

Cette neutralisation est autorisée moyennant que, dans toute la mesure du possible, les mouvements s'effectuent par à-coups, à faible vitesse ou à effort réduit et que chaque mouvement s'interrompte lorsque cesse l'action sur l'organe de mise en marche correspondant.

Néanmoins, dans de nombreux cas, la marche « réglage » ne peut être totalement dénuée de risque. Pour cette raison :

- seules des personnes qualifiées doivent pouvoir l'employer (ce que permet d'obtenir, notamment, un sélecteur verrouillable) ;
- il est important que soit vérifié automatiquement, dans tous les autres modes de fonctionnement, l'état « repos » du relais de marche « réglage ». C'est ce que réalisent :
 - le contact R8 inséré dans le circuit d'appel du relais de mise sous tension (fig. 18) ;
 - le contact R8 inséré dans le circuit d'appel du relais de marche automatique (fig. 25).

En outre, dans le circuit d'appel du relais de marche manuelle (R7), on vérifie en permanence si la position du commutateur est en concordance avec l'état du relais de marche « réglage » (R8). Ainsi, toute défaillance du relais ou du commutateur interdit l'appel du relais de marche manuelle et rend inefficace toute action sur les boutons-poussoirs (fig. 25).

La sélection « marche réglage » doit interdire la production.

Si une neutralisation obtenue par la sélection « réglage » crée une situation dangereuse, cette neutralisation ne devra être effective que pendant la durée du mouvement, c'est-à-dire pendant que l'on appuie sur le bouton-poussoir.

Techniquement, on réalise cette condition en insérant dans le circuit de neutralisation, en série avec le contact de « marche réglage », un contact à fermeture du bouton-poussoir.

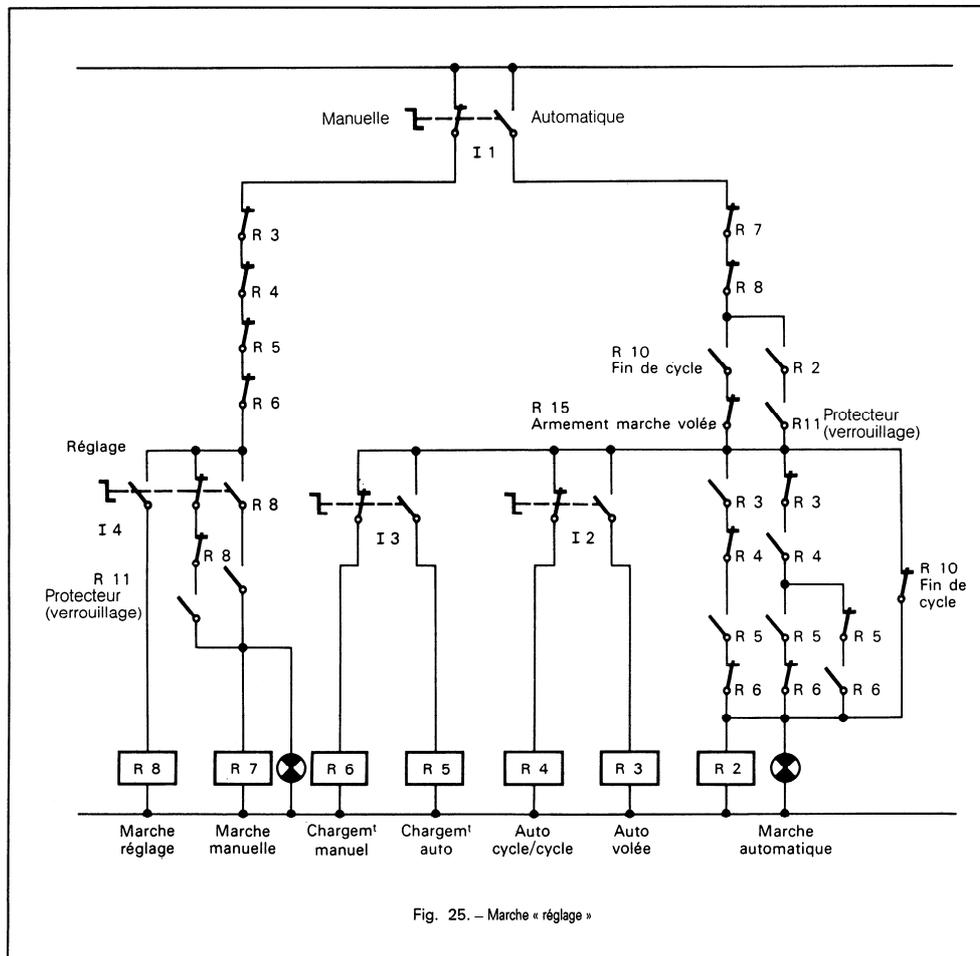


Fig. 25. - Marche « réglage »

3.7.5. Marche « dépannage » (fig. 26)

Il est des cas où le dépanneur ne s'accommode pas bien, en marche « réglage », de l'interverrouillage électrique de certains mouvements ou de certains verrouillages électriques associés à des protecteurs. Il peut être alors tenté d'user d'artifices tels que le « shuntage » temporaire de deux bornes, qu'il risque d'oublier de supprimer après dépannage.

Il est bon qu'il ait alors à sa disposition une marche « dépannage », identique, dans son principe, à la marche « réglage », mais dont les effets soient différents quant aux possibilités de mouvement. La marche « dépannage » permettra, par exemple, de s'affranchir de certains interverrouillages de mouvements.

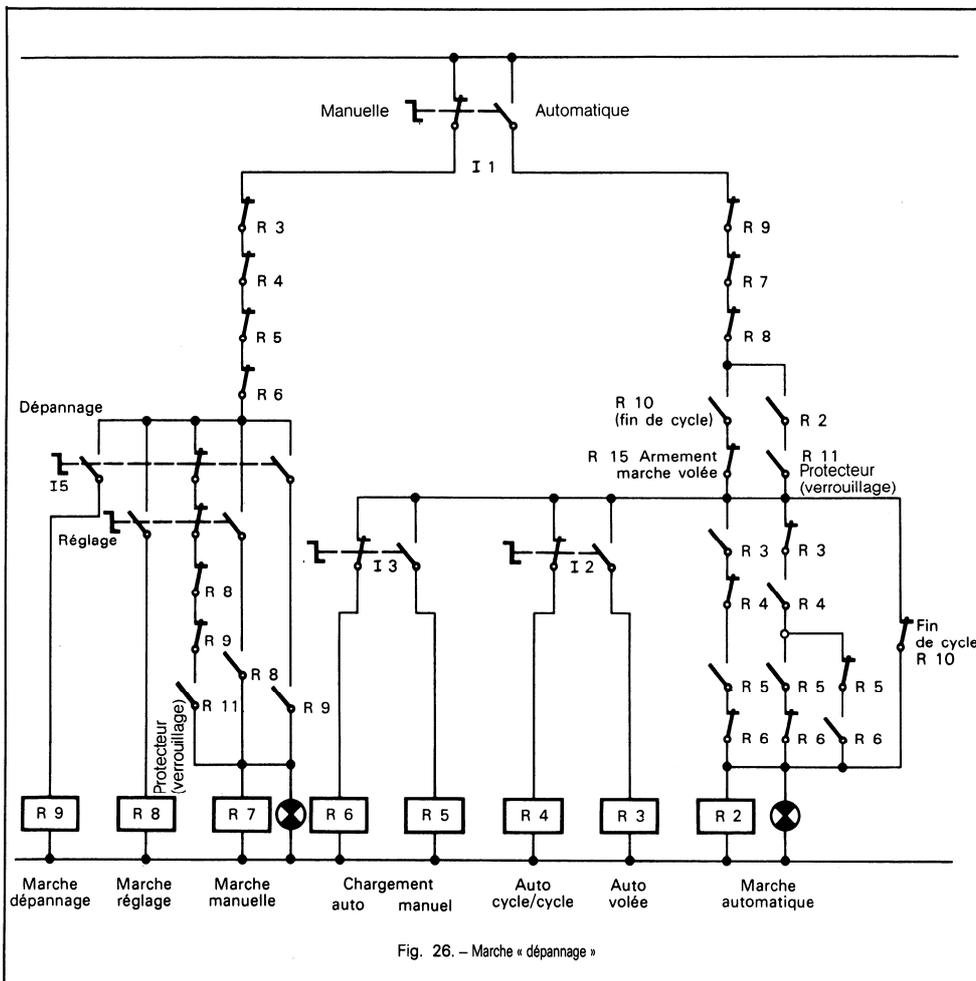
Le commutateur à clef (I5) sera monté à l'intérieur de l'armoire électrique, de façon qu'il ne soit accessible qu'aux dépanneurs électriques.

3.8. Vérification, en fin de cycle, du retour aux conditions de départ. Relais « de fin de cycle » (fig. 27)

Pour qu'un automatisme fonctionne dans les meilleures conditions de sécurité (tant pour le personnel que pour le matériel), il est essentiel qu'aucune séquence ne puisse commencer si la séquence précédente ne s'est pas déroulée sans incident.

Ce principe fondamental s'applique évidemment à la première séquence du cycle, dont le démarrage n'a lieu que si deux « informations » sont réunies :

- l'ordre de démarrage (délivré par action d'un opérateur sur un organe de service dans le cas de la marche par cycle, automatiquement dans le cas de la marche « à la volée ») ;
- un signal attestant que tous les organes de la machine sont dans la position (dans l'état) dans laquelle (dans lequel) ils doivent se trouver au début d'un cycle.



Un relais (R10) délivre ce signal. Ce relais est communément appelé relais « de fin de cycle », car il vérifie que le cycle précédent s'est déroulé complètement, chaque organe étant revenu à sa position (dans son état) de début de cycle.

L'appel et le maintien de ce relais sont conditionnés par (fig. 27) :

- l'état des détecteurs de position à commande mécanique ou à commande « par proximité ». (Chaque détecteur vérifie que les organes mécaniques, après avoir effectué leur déplacement au cours du cycle précédent, ont bien repris leur position d'origine.)

Quand la conception du schéma nécessite plus de deux contacts d'un même détecteur, ce dernier doit être relayé ; un contact du relais remplace le contact du

détecteur dans l'appel et le maintien du relais « de fin de cycle » (R25, R26, R28, R30 de la figure 27 remplacent respectivement m 10, m 12, m 14, PS 3 de la figure 29) ;

- l'état de certains relais, de certaines minuteries (retour aux conditions d'origine) est indiqué par R19, R21, R23 (fig. 27).

Nota : Le relais de fin de cycle peut également servir à vérifier l'état des relais composant le dispositif dit « de départ de cycle » (cf. § 3.9. et, sur la fig. 28, les relais R12 et R14). Lorsque toutes les conditions de départ de cycle sont réunies, le contact d'auto-alimentation R10 se substitue aux contacts (R12, R14) ayant servi à la vérification.

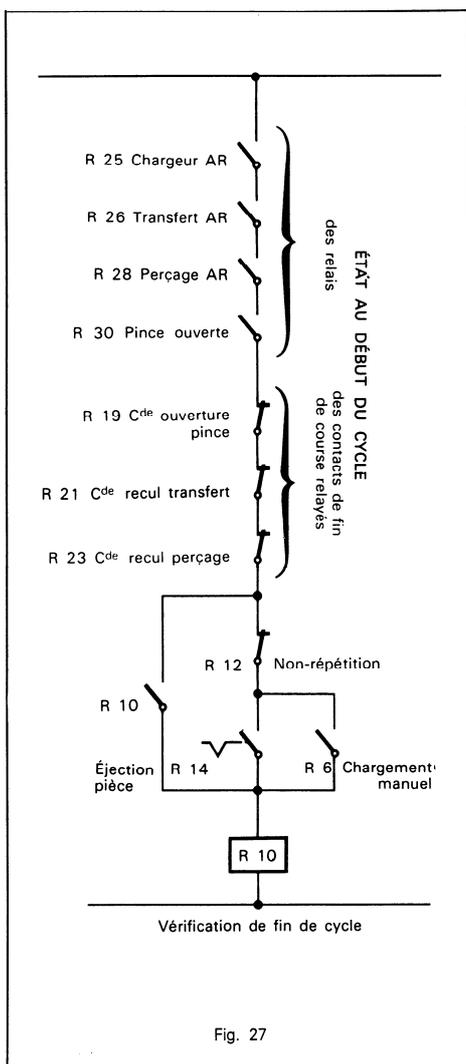


Fig. 27

3.9. Déclenchement, répétition ou non-répétition du cycle

Les notions exposées dans ce paragraphe sont valables pour toutes les machines industrielles à l'exception des presses.

3.9.1. Relais de « départ de cycle » (fig. 28)

Quel que soit le mode de fonctionnement adopté, le premier mouvement de la machine après une période d'arrêt est toujours déclenché par un ordre résultant d'une action de l'opérateur.

Cet ordre ne doit être suivi d'effet que si toutes les conditions de sécurité – pour la machine comme pour les personnes – sont satisfaites (cf. § 3.8., vérification du retour, en fin de cycle, aux conditions de départ).

Ce sont des contacts (R10, R11, R12) placés dans le circuit d'appel d'un relais appelé « relais de départ de cycle », en série avec le (les) contact(s) « marche », qui conditionnent le déclenchement du cycle.

Tant que le premier mouvement du cycle n'a pas commencé, le relais de fin de cycle R10 reste excité. Dès que l'ordre donné par le relais de départ de cycle R13 a été suivi d'effet, R13 peut être désexcité. Il l'est par l'ouverture du contact de R10 situé dans son circuit d'appel. En même temps, le relais de non-répétition du cycle R12, qui a joué son rôle, est, lui aussi, désexcité par l'ouverture du même contact de R10.

Cette façon de concevoir le départ de cycle élimine les inconvénients qui pourraient résulter du maintien sans nécessité de l'ordre de départ de cycle. On remarquera que le principe appliqué ici (*ne pas maintenir un ordre au-delà de sa « prise en compte » par l'automatisme*) est appliqué à plusieurs reprises dans la conception du schéma.

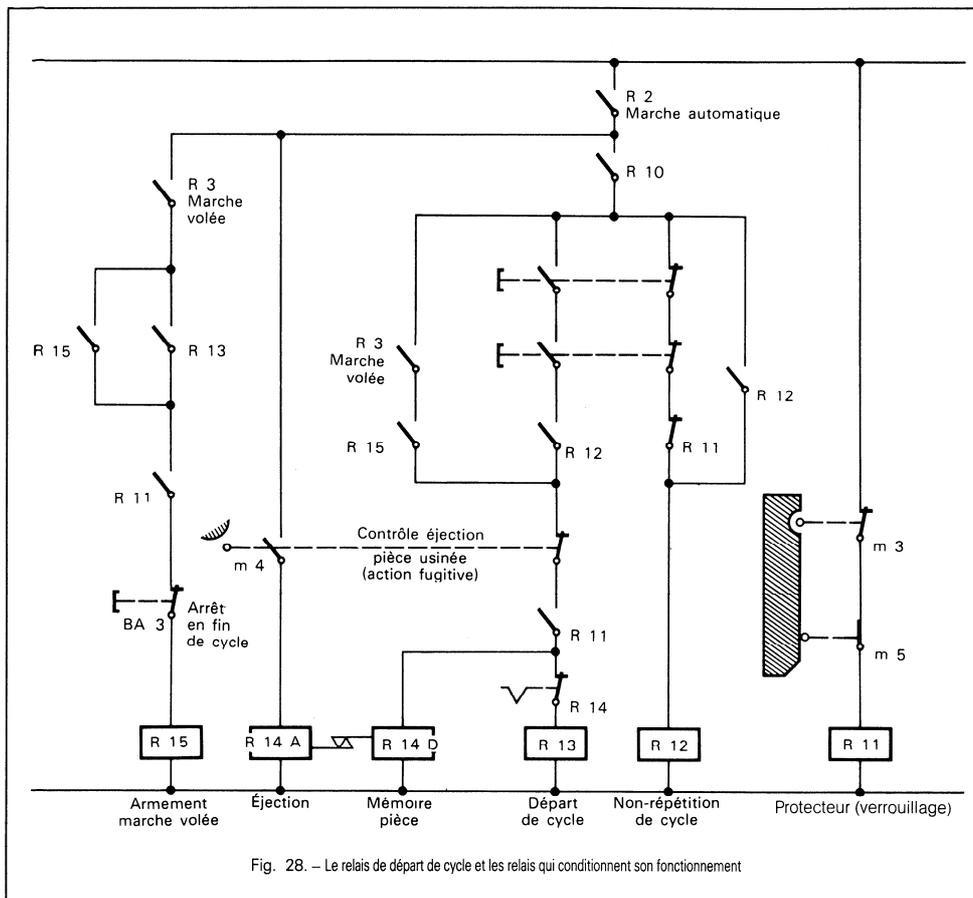
On vérifie en cours de cycle que les relais de fin de cycle (R10) et de départ (R13) ne sont pas restés bloqués dans l'état « travail » (fig. 29).

3.9.2. Action de l'opérateur

Ce paragraphe ne concerne pas les travaux « à l'unité », effectués par des opérateurs qualifiés qui interviennent à tout moment sur le processus de fabrication.

Il concerne les travaux de « série » effectués par des opérateurs de production n'intervenant sur la machine que pour changer de pièce (s'il y a lieu) et commander le départ du cycle.

L'action manuelle de l'opérateur dépend de la technique mise en œuvre pour assurer sa protection.



On rappelle ici brièvement les principales techniques de protection de l'opérateur :

- a) protection par emploi d'une commande bimanuelle synchrone conforme à la norme française homologuée NF E 09-034, avec maintien de l'effort sur les boutons-poussoirs pendant tout le temps où le déroulement du cycle présente un danger pour l'opérateur. La libération de l'un des boutons-poussoirs (ou des deux) doit commander immédiatement l'arrêt du cycle en cours (sauf si le risque disparaît dès le début du cycle), au bout d'un temps inférieur au temps d'accès des mains à la zone dangereuse).

Avec cette technique, seul l'opérateur est protégé ;

- b) protection par obstacle (écran, capot, carter mobile, avec verrouillage électrique) ;
- c) protection assurée par un dispositif sensible (à barrage immatériel, à barre sensible...)

Dans les cas b et c, la commande peut être alors à un seul bouton-poussoir ou à pédale (organes qui doivent être conçus et disposés de manière à exclure qu'ils puissent être actionnés accidentellement).

Nota : Quand l'organe de commande de départ de cycle est déplaçable (pupitre ou pédale) et non fixé rigidement sur le bâti de la machine, le câble électrique de liaison est exposé aux détériorations. Pour éviter que le départ de cycle soit commandé intempestivement s'il arrive que le câble soit sectionné par un objet tranchant, on doit entourer ce câble d'une gaine souple en fil métallique, et relier électriquement cette gaine au conducteur de protection du câble. D'autres solutions permettant d'obtenir le même résultat sont exposées en annexe à la norme française NF E 09-032 « Interrupteurs électriques à pédale de mise en marche et d'arrêt », indissociable de la norme française homologuée NF E 09-031 « Interrupteurs à pédale de mise en marche et d'arrêt ».

Dans le cas où l'on a recours à la technique des protecteurs mobiles avec verrouillage électrique :

- l'information « protecteurs fermés » est fournie par un relais (R11), grâce à un de ses contacts (à fermeture) qui se trouve dans le circuit d'appel du relais de départ de cycle ;
- le bon fonctionnement du relais R11 est vérifié grâce au contact (à ouverture) de R11 qui est placé dans le circuit d'appel du relais de non-répétition de cycle (cf. 3.9.3.) ;
- la fermeture d'un protecteur mobile autorise la mise en marche, mais ne la provoque pas (article R. 233-96, 2^e tiret, du Code du travail).

3.9.3. Relais de « non-répétition du cycle » (fig. 28)

Le rôle principal de ce relais (R12) est de vérifier que l'opérateur a lâché le(s) bouton(s)-poussoir(s) de départ de cycle après la mise en marche de la machine. En fin de cycle, le relais R12 est appelé si, à la fois :

- le relais R11 est revenu à l'état « repos » (vérification du bon fonctionnement du verrouillage électrique associé aux protecteurs mobiles) ;
- le(s) bouton(s)-poussoir(s) a (ont) été lâché(s).

Alors, le relais R12 s'auto-alimente et l'un de ses contacts autorise l'appel du relais de départ de cycle.

3.9.4. Maintien de la marche « à la volée » (fig. 28)

La sélection de la marche à la volée (sélecteur I2) a pour effet l'excitation du relais R3. Un contact de R3 autorise l'excitation de R15.

Il faut, en outre, pour que le relais R15 soit excité, que les relais R11 (protecteurs fermés) et R13 (départ de cycle) soient excités. Le relais R15 reste alors excité par auto-alimentation.

L'un de ses contacts à fermeture, en parallèle avec les contacts des boutons-poussoirs de commande de départ de cycle, se substitue alors à ceux-ci.

En aucun cas, le relais R15 ne doit intervenir directement dans l'enchaînement des opérations d'un même cycle.

La sélection de la marche à la volée ne doit pas, à elle seule, provoquer le démarrage de la machine. Celui-ci doit toujours être provoqué par l'action de l'opérateur sur le(s) bouton(s)-poussoir(s) de départ de cycle, en application des dispositions des articles R. 233-89 (6^e al.) et R. 233-96 (2^e tiret) du Code du travail.

C'est la raison pour laquelle on a recours à un relais (R15) pour obtenir la répétition automatique du cycle (fonctionnement à la volée).

Un contact à ouverture actionné par un bouton-poussoir permet de désexciter le relais, donc d'interrompre le fonctionnement à la volée, et, partant, d'obtenir l'arrêt automatique de la machine à la fin du cycle en cours.

3.10. Vérification de l'évacuation des pièces (fig. 28)

Avant que la machine entame un nouveau cycle, il est utile de vérifier que la pièce traitée (usinée...) au cycle précédent a été évacuée.

Un détecteur délivre, au passage de la pièce, une information fugitive qui est mise en mémoire par un relais bistable (R14) (1) qui, dans son état consécutif à la détection du passage d'une pièce, autorise l'appel du relais de fin de cycle R10.

Pour pallier les défaillances possibles du dispositif électromécanique de détection de passage de pièce et du relais bistable R14, le relais de départ de cycle vérifie (contact m4) que le dispositif mécanique de détection de pièce a bien repris sa position initiale et, ensuite, par excitation de R14D, annule l'information gardée en mémoire par le relais bistable R14, puis vérifie cette annulation (contact R14).

Le choix d'un relais bistable (16) a pour but de permettre la vérification de l'évacuation de la pièce à un moment quelconque du cycle (cas des machines à plateau tournant, comportant plusieurs postes : chargement, travail, déchargement) et à garder l'information en mémoire indépendamment des interruptions de la tension aux bornes de l'équipement de la machine entre les périodes de travail.

3.11. Mode de commande des mouvements composant le cycle

3.11.1. Choix des distributeurs hydrauliques et pneumatiques

Appelés quelquefois « actionneurs », les organes moteurs qui engendrent les différents mouvements de la machine sont soit des moteurs, soit des vérins hydrauliques ou pneumatiques.

Le mode d'alimentation des moteurs ne présente généralement pas de difficultés. En revanche, l'alimentation des vérins fait appel à des électro-distributeurs, dont le choix doit être effectué essentiellement en fonction du comportement de chaque type de distributeur en cas de coupure de l'alimentation en électricité (application des dispositions de l'article R. 233-95 du Code du travail).

Le tableau III permet une comparaison des trois types d'électro-distributeurs les plus courants.

A la lecture de ce tableau, on remarque que le comportement d'un vérin après une action sur la commande d'arrêt d'urgence ou lors d'une défaillance de l'alimentation en énergie électrique dépend entièrement du type du distributeur.

En particulier :

- l'inversion presque instantanée du mouvement en cours, que provoque un électro-distributeur monostable, peut présenter des avantages, mais aussi des risques très graves, notamment pour les dépanneurs et les réglieurs, en cas de défaillance de l'alimentation en énergie électrique pendant une intervention ou simplement si, par exemple, un électricien enlève les fusibles de protection de l'électro-distributeur ;
- avec un électro-distributeur à deux positions stables (bistable) le mouvement en cours au moment de l'action sur la commande d'arrêt d'urgence continue de s'effectuer. En revanche, ce type de distributeur convient parfaitement pour l'alimentation de vérins à faible course (mandrins, dispositifs de bridage, « verrous mécaniques »).

Dans certains distributeurs, pour éviter le déplacement du tiroir, libre dans son alésage, sous l'effet d'un « coup de bélier », un dispositif à bille et ressort immobilise le tiroir dans la position dans laquelle il a été amené par la bobine de commande.

(1) On appelle relais bistable un relais qui, même en l'absence de toute tension, reste dans l'état dans lequel l'a mis l'excitation de l'une de ses bobines. Il ne change d'état que si l'on excite l'autre bobine, sans exciter la première.

Un tel dispositif n'assurant cependant pas un verrouillage rigoureux du tiroir, il peut être jugé préférable de maintenir séparément sous tension chaque bobine de l'électro-distributeur ou, mieux encore, d'adjoindre au distributeur un dispositif mécanique piloté capable d'immobiliser efficacement le tiroir dans chacune de ses deux positions ;

- avec un électro-distributeur à trois positions, à rappel vers la position centrale (centre fermé) on n'obtient un

arrêt « sur place » qu'en hydraulique (seules les fuites d'huile au niveau du tiroir du distributeur et du piston du vérin engendrent un lent déplacement de l'organe mobile ou le permettent s'il tend à se déplacer par gravité). En pneumatique, à cause des fuites et de la compressibilité de l'air, l'arrêt sur place est presque toujours impossible à obtenir et l'on observe une « dérive » de la tige du vérin sous l'effet d'organes libres de se déplacer par gravité.

TABLEAU III

Type de l'électro-distributeur	- à deux positions, avec rappel du tiroir par ressort, ou encore - monostable.	- à deux positions maintenues, ou stables, ou encore - bistable.	- à trois positions, avec rappel, par ressorts, du tiroir vers la position centrale (**).
Symbole	4,2 (4 orifices, 2 positions)	4,2 (4 orifices, 2 positions)	4,3 (4 orifices, 3 positions)
Comportement du distributeur en cas de disparition de la tension de commande.	Le tiroir revient à sa position stable.	Le tiroir reste dans la position dans laquelle il se trouve.	Le tiroir est amené par les ressorts dans sa position centrale.
Comportement correspondant du vérin à double effet alimenté par le distributeur (*)	- si, au moment de la disparition de la tension, la tige du vérin est en mouvement (cas de l'arrêt d'urgence)... ... la direction du mouvement s'inverse.	... le mouvement en cours continue dans la même direction jusqu'à ce que la tige du vérin atteigne sa position extrême.	... la tige du vérin s'arrête sur place (rigoureusement en hydraulique, approximativement en pneumatique ; cf. (**)).
	- si, au moment de la disparition de la tension, la tige du vérin est immobile en position extrême... ... elle se met en mouvement jusqu'à son autre position extrême.	... elle reste immobile.	... elle reste immobile.
Autres particularités du fonctionnement.	La tension doit être maintenue aux bornes de la bobine du distributeur pendant toute la durée du mouvement du vérin dans l'un des deux sens.	Une impulsion électrique aux bornes de chaque bobine du distributeur suffit pour déclencher et entretenir chaque déplacement.	La tension doit être maintenue aux bornes de chaque bobine pendant toute la durée du mouvement correspondant.

(*) La pression de fluide étant supposée maintenue.
(**) Ce type de distributeur ne convient bien qu'en hydraulique.

3.11.2. Enchaînement des mouvements (phases) composant le cycle (fig. 29 et planches A, B, C, D, E)

Dans l'exemple choisi pour illustrer ce paragraphe, on ne prend en considération que des mouvements d'organes mécaniques. Dans la pratique, certaines phases d'un cycle peuvent aussi consister en des opérations de chauffage, de transfert de fluides, etc.

Il est essentiel pour la sécurité (des personnes et du matériel, que chaque organe mobile soit toujours détecté dans ses positions extrêmes et, éventuellement, dans certaines de ses positions intermédiaires. On doit donc concevoir la « logique » de l'automatisme de manière telle qu'aucun mouvement ne puisse commencer si le mouvement précédent n'a pas été exécuté ou s'il a été interrompu prématurément (l'information délivrée par le détecteur de fin de phase est indispensable pour que commence la phase suivante).

Grâce à ce mode d'enchaînement des mouvements, on évite les collisions d'organes mécaniques qui peuvent, parfois, être à l'origine d'accidents corporels.

Au contraire, si l'électricien doit effectuer son étude d'automatisation avec, comme donnée immuable, une machine sur laquelle chaque organe mobile n'est détecté que dans une position, il devra avoir recours à un expédient dangereux consistant à faire délivrer chaque signal de fin de mouvement par une minuterie (relais temporisé) déclenchée au début de chaque mouvement.

Le danger de cette manière de procéder provient évidemment du fait qu'il n'est jamais certain que le mouvement ait bien lieu dans l'intervalle de temps fixé à l'avance

et que, d'autre part, toute minuterie (tout dispositif temporisé) peut se dérégler ou être dérégulée.

L'économie réalisée par la suppression d'une vérification de fin de course sur deux a pour conséquence directe la réalisation d'une machine dangereuse.

Tout aussi dangereuse sera la machine sur laquelle, par souci d'économie ou par ignorance des risques ainsi créés, on réalise la commande de l'enchaînement des mouvements par l'emploi d'un programmeur purement chronologique, sans aucune vérification de la position des organes mobiles.

Là aussi, l'économie réalisée par une telle conception de la machine, même si elle est importante, devient négligeable devant les sommes nécessaires pour la réparation des dommages matériels et, éventuellement, corporels après un accident. (De plus, un tel programmeur ne permet pas de commander séparément chaque mouvement, ce qui rend particulièrement difficiles les réglages et les mises au point.)

Il peut être nécessaire de vérifier qu'un travail a bien été effectué au cours d'un déplacement d'organe, avant de passer au déplacement suivant.

Dans ce cas, il est nécessaire qu'une mémoire mécanique (1) enregistre l'information « travail effectué ».

L'ordre de déclenchement du déplacement suivant ne sera délivré que si, à l'information « déplacement effectué », est venue s'ajouter l'information « travail effectué ».

(1) Une mémoire mécanique présente l'avantage de ne pas être influencée par les mises hors tension.

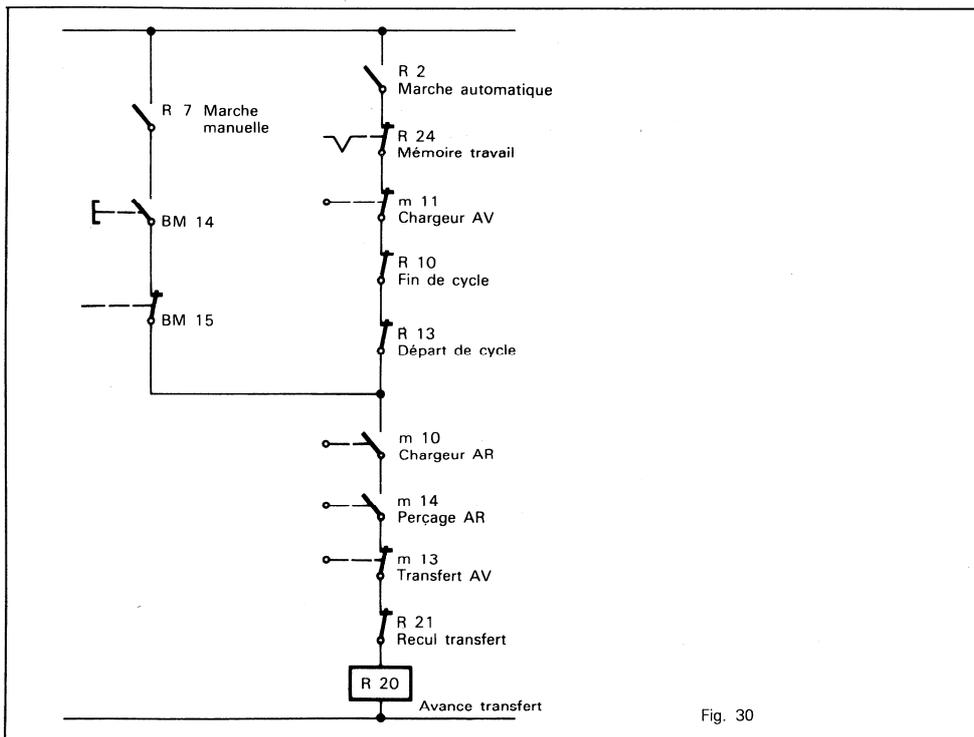


Fig. 30

3.11.3. Illustration des principes exposés au paragraphe précédent

Extrayons du schéma d'ensemble la partie correspondant au mouvement d'avance du transfert et analysons-la

comme le ferait un électricien chargé d'établir ce schéma (fig. 30).

L'alimentation de la bobine du relais R20 sera soumise aux conditions exprimées dans les deux tableaux suivants :

I. En marche automatique (fig. 30)

Conditions qui doivent être simultanément satisfaites pour que la bobine du relais R20 soit alimentée (mouvement d'avance du transfert)	Contact(s) fermé(s) lorsque la condition correspondante est satisfaite (cf. fig. 30)
a) <i>Sélecteur de mode de fonctionnement en position « marche automatique »</i>	R2
b) <i>Détecteur d'origine du mouvement précédent revenu à l'état « repos »</i> (ici, il s'agit de l'interrupteur détectant le chargeur en position avant) CETTE CONDITION EST SOUVENT OUBLIÉE LORS DE L'ÉTABLISSEMENT D'UN SCHÉMA.	m11
c) <i>Certains relais revenus à l'état « repos ».</i> Ici : – relais R13 (départ de cycle) – relais R10 (vérification de fin de cycle)	R13 R10 (contacts à ouverture des relais de même désignation)
d) <i>Mouvement précédent effectué entièrement.</i> Ici, il s'agit du retour du chargeur en position arrière. Si toutes les autres conditions sont remplies, la fermeture de m10 commande le mouvement d'avance du transfert (*) (fonctionnement séquentiel)	m10
e) <i>Interverrouillage assuré entre les organes qui pourraient entrer en collision les uns avec les autres.</i> Ici : – interverrouillage « transfert-unité de perçage » (vérifier que l'unité de perçage est en position arrière) – interverrouillage « transfert-chargeur » (cf. d)	m14 m10
f) <i>Interverrouillage des mouvements opposés (vers l'avant, vers l'arrière) d'un même organe.</i> Ici : interverrouillage entre l'avance et le recul du transfert Cet interverrouillage : – interdit que les deux bobines d'un même distributeur se trouvent simultanément sous tension ; – permet la vérification, à chaque mouvement, du retour à l'état « repos » du relais commandant le mouvement opposé.	R21
g) <i>Condition supplémentaire, destinée à éviter que R20 soit alimenté si toutes les conditions précédentes (a à f) se trouvent satisfaites à un autre moment du cycle, régulièrement (ce qui est réalisé, dans notre exemple, au début du cycle) ou accidentellement (« battement » des contacts).</i> Afin de lever l'indétermination résultant de l'identité des deux ensembles de conditions, l'électricien fait intervenir une condition supplémentaire : ici, l'état du relais bistable R24 (mémoire)	R24

(*) Pour le déclenchement du premier mouvement du cycle (ici : l'avance du chargeur) c'est un contact à fermeture du relais de départ de cycle (ici : R13) qui commande l'alimentation du relais correspondant (ici : R16).

II. En marche manuelle (fig. 30)

Conditions qui doivent être simultanément satisfaites pour que la bobine du relais R20 soit alimentée (mouvement d'avance du transfert)	Contact(s) fermé(s) lorsque la condition correspondante est satisfaite (cf. fig. 30)
a) <i>Sélecteur de mode de fonctionnement en position « marche manuelle »</i>	R7
b) <i>Contact à fermeture du bouton-poussoir commandant le mouvement opposé (BM15) revenu en position d'ouverture</i>	BM15
c) <i>Ensemble des conditions explicitées, dans le tableau précédent, sous les repères (e et f)</i>	m10, m14, R21
d) <i>Action sur le bouton-poussoir « avance du transfert »</i>	BM14

Enfin, le contact m13 interrompra, en fin de mouvement, l'alimentation de la bobine du distributeur maintenue sous tension pendant toute la durée de l'avance du transfert (les distributeurs employés dans notre exemple étant à deux positions maintenues (distributeurs bistables), il suffit, en toute rigueur, d'une impulsion électrique pour provoquer l'exécution de chaque mouvement).

Le schéma terminé, l'électricien dénombre les contacts utilisés dans chaque interrupteur de position à commande mécanique.

Si le nombre de contacts trouvé, pour un même interrupteur, excède le nombre de contacts que comportent les interrupteurs dont il dispose, il emploie un relais. C'est ainsi que, dans notre exemple, les interrupteurs m10 et m14 sont relayés, respectivement, par R25 et R28 (cf. planche E).

L'interrupteur m13 est relayé, pour certaines fonctions, par R27, mais il interrompt **directement, par son contact à ouverture**, l'alimentation de la bobine du relais R20 commandant le distributeur (cf. nota associé à la planche D).

4. DONNÉES TECHNOLOGIQUES

Les données technologiques exposées dans ce chapitre sont absolument essentielles pour la conception des schémas d'automatismes et pour la réalisation de l'équipement électrique des machines industrielles.

4.1. Voyants lumineux. Boutons-poussoirs (lumineux ou non)

Afin d'éviter toute confusion dans le choix et dans l'interprétation des couleurs de ces composants, nous reproduisons ci-après les tableaux qui, dans la norme

NF C 79-130, en définissent la signification conventionnelle, très largement admise à l'heure actuelle.

L'utilisation des boutons-poussoirs lumineux doit être limitée d'une manière très stricte pour éviter toute confusion entre la signalisation par lampe séparée et celle des boutons-poussoirs lumineux.

La signalisation incorporée au bouton-poussoir lumineux doit être utilisée dans les mêmes conditions que s'il s'agissait de lampes séparées ; le bouton-poussoir lumineux ne doit pas être utilisé uniquement pour signaler que l'élément qu'il commande a bien été commandé électriquement.

Tableau IV (NF C 79-130, § 10.3.2, tableau 3)
Couleurs des voyants lumineux de signalisation et leur signification suivant la condition (l'état) de la machine industrielle

Couleur	Signification	Explication	Action de l'opérateur	Exemples d'application
ROUGE	URGENCE	Condition dangereuse	Action immédiate pour traiter une condition dangereuse (exemple en actionnant l'arrêt d'urgence)	<ul style="list-style-type: none"> - Pression/température en dehors des limites de sécurité ; - Chute de tension ; - Coupure ; - Surcourse au-delà de la position d'arrêt.
JAUNE	ANORMAL	Condition anormale entraînant une condition critique	Surveillance ou intervention (par exemple en rétablissant la fonction désirée)	<ul style="list-style-type: none"> - Pression/température dépassant une limite normale ; - Déclenchement d'un dispositif de protection.
VERT	NORMAL	Condition normale	Optionnelle	<ul style="list-style-type: none"> - Autorisation de démarrer ; - Indication des limites normales de travail.
BLEU	OBLIGATOIRE	Indication d'une condition qui requiert l'action de l'opérateur	Action obligatoire	<ul style="list-style-type: none"> - Demande pour entrer des valeurs présélectionnées.
BLANC	NEUTRE	D'autres conditions peuvent être utilisées chaque fois qu'il y a un doute sur l'utilisation des couleurs ROUGE, JAUNE, VERT, BLEU	Surveillance	<ul style="list-style-type: none"> - Information générale.

Tableau V (NF C 79-130, § 10.2.1, tableau 2)
Code de couleur pour organes de commande à bouton-poussoir et leur signification

Couleur	Signification	Explication	Exemples d'application
ROUGE	URGENCE	Action en cas de danger ou d'urgence	- Arrêt d'urgence ; - Initiation de la fonction d'urgence ; - voir aussi 10.2.1.
JAUNE	ANORMAL	Action en cas de conditions anormales	Intervention pour supprimer des conditions anormales ; Intervention pour remettre en route un cycle automatique interrompu.
VERT	SUR	Action en cas de situation sûre ou pour préparer les conditions normales	Voir 10.2.1.
BLEU	OBLIGATOIRE	Action en cas de conditions nécessitant une action obligatoire	Fonction de réarmement.
BLANC	Pas de signification	Pour initiation générale de fonctions, sauf l'arrêt d'urgence	MARCHE/MISE SOUS TENSION (préférentielle) ; ARRET/MISE HORS TENSION.
GRIS	spécifique		MARCHE/MISE SOUS TENSION ; ARRET/MISE HORS TENSION.
NOIR	assignée	(Voir aussi note)	MARCHE/MISE SOUS TENSION ; ARRET/MISE HORS TENSION (préférentiel).
<p>Note. Lorsqu'un moyen supplémentaire de codage (par ex. : texte, forme, position) est utilisé pour l'identification des organes de commande, la même couleur BLANC, GRIS ou NOIR peut être utilisée pour différentes fonctions (par exemple BLANC pour organes de commande MARCHE/MISE SOUS TENSION et BLANC pour organes de commande ARRET/MISE HORS TENSION).</p>			

4.2. Détermination du calibre ou de la puissance des appareils

Le calibre du dispositif de sectionnement est déterminé en fonction de la somme des courants traversant les récepteurs fonctionnant simultanément et placés en aval de ce dispositif.

Le calibre des contacteurs de mise en marche des récepteurs est déterminé en fonction du coefficient k défini au tableau II de la norme NF C 63-110.

La puissance du transformateur alimentant le circuit de commande est déterminée en fonction du nombre des relais faisant partie du circuit de commande. Elle est généralement calculée sur la base de cinq fois la valeur maximale, en cours de cycle, de la somme des courants qui traversent les relais à un même moment.

4.3. Protection des circuits contre les surintensités (NF C 79-130, § 7.2)

La norme NF C 79-130 donne les principales indications nécessaires pour la protection des conducteurs contre les

surcharges et les courts-circuits. Pour les points particuliers, la norme NF C 15-100 est à consulter.

Le calibre, le type (aM, gl...) des fusibles, ainsi que le calibre des disjoncteurs et le courant de réglage des relais qui leur sont associés doivent figurer sur le schéma.

Le fusible de protection du secondaire du transformateur alimentant le circuit de commande doit être à action rapide (type gl ou gll).

Pour éviter tout risque de permutation entre les fusibles de type gl ou gll et les fusibles de type aM (mêmes cotes de fabrication dans une série) on réservera la série 8,5 x 31,5 (protection de 0,63 A à 16 A) pour les fusibles du type gl ou gll.

Les autres séries – 10,3 x 38 ; 14 x 51 ; 22 x 58 (protection de 0,63 à 16 A ; de 2 à 40 A ; de 16 à 80 A) – pourront être réservées pour les fusibles de type aM.

Tableau VI (NF C 79-130, § 14.6, tableau 5)
 Courant maximal admissible (I_z) des conducteurs et câbles en cuivre/isolés par PVC pour différentes méthodes
 d'installation en régime continu et à température ambiante de 40 °C

Méthode d'installation (C.1.2)	B1	B2	C	E
Section (mm ²)	Courant maximal admissible - I_z (A)			
Electronique (paires)				
0,2	-	-	4,0	4,0
0,3	-	-	5,0	5,0
0,5	-	-	7,1	7,1
0,75	-	-	9,1	9,1
Câbles monoconducteurs non armés en distribution triphasée				
0,75	7,6	-	-	-
1,0	10,4	9,6	11,7	11,5
1,5	13,5	12,2	15,2	16,1
2,5	18,3	16,5	21	22
4	25	23	28	30
6	32	29	26	37
10	44	40	50	52
16	60	53	66	70
25	77	67	84	88
35	97	83	104	114
50	-	-	123	123
70	-	-	155	155
95	-	-	192	192
120	-	-	221	221
Notes	1. Pour les températures ambiantes différentes de 40 °C, corriger en utilisant les valeurs données au tableau C.1. 2. Pour les installations comportant des paires/câbles chargées, corriger les valeurs selon les tableaux C.2 ou C.3. 3. Pour un isolant autre que le PVC, les facteurs de correction sont donnés au tableau C.4. 4. Si on utilise des conducteurs en aluminium et non en cuivre, on doit appliquer un facteur de réduction de 0,78. 5. Les câbles souples suspendus librement peuvent être surchargés de 5 % par rapport aux valeurs de ce tableau pour la méthode C. (La charge de court-circuit est alors réduite de 10 %).			

4.3.1. Protection contre les surcharges

Les circuits alimentant les prises de courant ainsi que les moteurs d'une puissance supérieure à 0,5 kW en fonctionnement continu doivent être protégés contre les surcharges.

Les intensités maximales admissibles dans les conducteurs et câbles en cuivre isolés au PVC sont données par les tableaux V et VI (norme NF C 79-130) pour des conducteurs à âme cuivre et une température ambiante de 40 °C.

La température maximale admissible des conducteurs correspondant au courant constant le plus élevé, dans des conditions normales ne doit jamais dépasser les valeurs fixées par le tableau VII.

Pour une âme en aluminium, il faut appliquer un coefficient 0,78 aux valeurs du tableau.

Pour groupage de conducteurs, utilisation de câbles multiconducteurs ou pour isolants différents, des facteurs de correction, donnés aux tableaux C2, C3, C4 de la NF C 79-130 sont à appliquer.

Tableau VII (NF C 79-130, § 14.4, tableau 4)
 Températures maximales admissibles
 dans les conditions normales et de court-circuit

Type de l'isolation	Température maximale admissible dans des conditions normales (°C)	Température à ne jamais dépasser dans des conditions de court-circuit* (°C)
PVC	70	160
Caoutchouc	60	200
PER (XLPE)	90	250
Caoutchouc siliconé (SIR)	180	350
* En supposant les conditions adiabatiques réalisées en moins de 5 s.		

4.3.2. Protection contre les courts-circuits

Tous les câbles et conducteurs doivent être protégés contre les courts-circuits, c'est-à-dire qu'ils ne doivent jamais dépasser, dans le temps très court des conditions de court-circuit, la température maximale fixée par le tableau VII ci-dessus.

Le paragraphe 434.3.2 de la NF C 15-100 fixe les conditions de coupure du courant de court-circuit pour ne pas dépasser les températures admises (voir également le paragraphe C 4 en annexe).

4.3.3. Section minimale

Toutefois, pour assurer une résistance mécanique suffisante, la section des conducteurs ne doit pas être inférieure à celles définies dans le tableau VIII ci-dessous.

Des sections plus faibles sont autorisées dans les appareillages où les efforts mécaniques sont pris en compte par des moyens différents et que leur bon fonctionnement n'est pas altéré.

Le câblage des circuits avec un courant maximal de 2 A à l'intérieur d'une enveloppe peut ne pas respecter les exigences du tableau ci-dessus.

Nota : le lecteur trouvera en annexe toutes informations complémentaires concernant le dimensionnement des conducteurs.

4.4. Choix des interrupteurs à commande mécanique pour la réalisation de verrouillages électriques

Le tableau I, page 26, donne les indications les plus importantes en ce qui concerne le mode de liaison entre

une came (ou une rampe) et le poussoir d'un interrupteur « standard ».

Un projet de norme européenne Pr EN 1088 traite des dispositifs de verrouillage et d'interverrouillage.

4.5. Câblage

(Voir aussi § 3.2. pour la partie de l'équipement située sur la machine et NF C 79-130, chapitre 14)

4.5.1. Câbles alimentant le circuit de puissance

- Leur section est fonction de l'intensité traversant les récepteurs.
- Dans le cas d'une liaison souple, ils sont choisis dans la série U-1000 SC 12 N (HO 7 RN-F).
- Ou suivant une référence équivalente, avec une exigence particulière sur la tenue aux huiles de l'enveloppe isolante des conducteurs.
- Dans le cas d'une liaison semi-rigide, on peut utiliser des câbles de la classe de souplesse NF 32.

4.5.2. Câbles assurant la liaison entre l'armoire électrique et les différents appareils électromécaniques situés sur la machine et appartenant au circuit de commande

Ces câbles sont choisis dans les séries U-500-SVOV ou U-1000 SC 12 N (H 07 RN-F). On peut également utiliser des conducteurs (séparés) de la série U 500 SV (H'07 V-K).

En armoire, les conducteurs employés pour le câblage du circuit de commande sont des conducteurs souples, de section au moins égale à 0,75mm, généralement de la série U-500 SV (H 07 V-K).

Tableau VIII (NF C 79-130, § 14.6, tableau 6)
Sections minimales des conducteurs en cuivre

Implantation	Application	Définition des câbles				
		Câble unipolaire Ame câblée	Câble unipolaire Ame massive	Câble 2 conduct. blindé	Câble 2 conduct. non blindé	3 conduct. ou plus blindé ou non
A l'extérieur de l'enveloppe	Câblage normal	1,00	1,50	0,75	0,75	0,75
	Connexion d'éléments fréquemment mobiles	1,00	-	1,00	1,00	1,00
	Circuit à courant très faible (< 2A)	1,00	1,50	0,30	0,50	0,30
	Câblage de liaison de communication	-	-	-	-	0,08
A l'intérieur de l'enveloppe	Câblage normal	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
	Circuit à courant très faible (< 2A)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	Câblage de liaison de communication	-	-	-	-	0,08
Notes 1. Toutes les sections sont en mm ² . 2. Non utilisée.						

La couleur de ces conducteurs est fixée comme suit :

- Tous les conducteurs de protection (remise à la terre en schémas TT ou IT ou mise au neutre en schéma TN) doivent être identifiés par les couleurs VERT et JAUNE (bicolores).
- Pour les autres conducteurs, les couleurs suivantes sont recommandées :

- Circuit de puissance (alternatif ou continu) NOIR
- Conducteurs neutres des circuits de puissance (quand ils *ne sont pas* utilisés pour la mise à la terre) BLEU CLAIR
- Circuits de commande (alternatif) ROUGE
- Circuits de commande (continu) BLEU
- Circuit de commande d'interverrouillage (alternatif ou continu) ORANGE

Dans les câbles multiconducteurs, on peut utiliser l'identification par chiffres.

4.5.3. Repérage des conducteurs

Tous les conducteurs doivent être repérés par application de l'une des méthodes suivantes :

- a) Repérage individuel des conducteurs suivant le principe de repérage équipotentiel : un même repère est affecté à tous les conducteurs reliés directement entre eux.

Les repères utilisés sont des manchons, en caoutchouc ou en matière plastique, enserrant le conducteur. Les repères collés sont à proscrire. Il existe des repères « manchons » portant un numéro et dont les différentes couleurs possibles sont conformes au code de couleurs des résistances.

- b) Repérage d'après le marquage des bornes des appareils électromécaniques (ce marquage doit être « de construction » et non rapporté).

Sur le schéma développé, on indique, pour chaque contact, le repère de la borne d'entrée et celui de la borne de sortie de l'appareil.

Le repérage défini en (a) doit être utilisé :

- lorsque les bornes des appareils ne sont pas pourvues, par le constructeur, de marques distinctes ;
- aux jonctions de conducteurs réalisées à l'aide de bornes intermédiaires (la borne doit alors porter le même repère que les conducteurs qui y aboutissent) ;
- pour les appareils électromécaniques situés hors de l'armoire électrique.

4.6. Armoires électriques

4.6.1. Conception et aménagement

Les armoires électriques doivent avoir un indice de protection leur conférant une étanchéité suffisante (en général IP 547). Pour plus de détails se reporter éventuellement au chapitre 32 et à la section 512 de la NF C 15-100. Un toit légèrement débordant sur la face avant améliore la protection contre les chutes de liquides. Leur hauteur ne doit pas dépasser deux mètres à partir du niveau d'accès.

Elles ne doivent contenir que des appareils électriques, à l'exclusion de tout autre élément (pneumatique, hydraulique...).

Tous les appareils situés dans l'armoire, ainsi que tous les conducteurs de raccordement, doivent être accessibles par la face avant de l'armoire. Le câblage des conducteurs et goulotte est préconisé.

Les portes des armoires électriques doivent être verrouillables et leurs clefs ne doivent être détenues que par les personnes habilitées à effectuer des interventions d'ordre électrique. (Il est admis que les portes puissent être fermées et verrouillées par simple poussée, pourvu qu'elles ne puissent être ouvertes qu'à l'aide d'une clef.)

Lorsque l'équipement électrique d'une machine comprend des appareils qui doivent être réglés en fonction de chaque type de fabrication (minuteries, thermostats, manostats...) par le personnel « de production », les organes de réglage de ces appareils doivent être placés en façade de l'armoire, accessibles sans qu'il soit nécessaire d'ouvrir la porte (seules, les personnes habilitées à effectuer des travaux d'ordre électrique ont le droit d'ouvrir les armoires). Si l'on veut que les organes de réglage ne soient accessibles qu'à certains membres du personnel de production, il convient de les placer sous un capot (transparent) verrouillable.

On peut réduire le temps d'intervention des dépanneurs dans les armoires électriques en repérant les appareils électromécaniques par des étiquettes fixées par rivets ou vis sur le couvercle des goulottes de câblage, en complément du repérage figurant sur les appareils. Les couvercles des goulottes de câblage doivent alors être repérés par rapport à un élément de l'armoire, de manière à éviter leur intervention.

La disposition des appareils suivant l'ordre alphanumérique de leurs repères et le regroupement des fusibles placés dans l'armoire électrique permettent un dépannage plus rapide.

4.6.2. Appareil de sectionnement (NF C 79-130, § 5.3)

Dans l'armoire, il doit être placé à la partie supérieure. Son organe de manœuvre doit être à l'extérieur de l'armoire et doit pouvoir être verrouillé en position « circuit ouvert » par trois cadenas.

L'organe de manœuvre de l'appareil de sectionnement peut être situé sur une face latérale de l'armoire ou sur la porte. Dans ce dernier cas, on doit prendre garde au risque engendré par le fait qu'il se trouve désolidarisé de l'appareil lorsque la porte est ouverte.

Aucune borne de raccordement, aucun appareil électromagnétique ne doit se trouver au-dessus de l'appareil de sectionnement.

Un dispositif de sectionnement de l'alimentation, à commande manuelle, doit être installé pour chaque alimentation ; il doit séparer l'équipement électrique de la machine du réseau d'alimentation.

S'il y a plusieurs dispositifs de sectionnement, des verrouillages doivent être utilisés si une condition dangereuse ou des dommages à la machine ou aux travaux en cours sont possibles.

Le dispositif doit être de l'un des types suivants :

- interrupteur-sectionneur
- sectionneur à pré-coupure
- disjoncteur

En raison des nombreuses explosions survenues avec des sectionneurs à pré-coupure, ce type d'appareil est vivement déconseillé.

Quelque soit le dispositif choisi, il doit :

- posséder uniquement une position OUVERT et une position FERMÉ repérées par O et I, les coupe-circuit ayant un réarmement (déclenché) entre O et I étant réputés satisfaire à cette exigence,
- comporter une ouverture visible ou un indicateur de position qui ne puisse pas indiquer « OUVERT » tant que tous les contacts ne sont effectivement ouverts et séparés par une distance conforme à la norme de fabrication,
- comporter une poignée extérieure située entre 0,6 m et 1,9 m du sol,
- pouvoir être verrouillé en position OUVERT,
- couper tous les conducteurs actifs,
- avoir un pouvoir de coupure suffisant pour interrompre le courant du moteur le plus puissant, rotor bloqué, ajouté à tous les autres moteurs en charge.

Pour une machine de moins de 16 A, dont la puissance totale des moteurs ne dépasse pas 3 kW, une prise de courant peut être utilisée comme dispositif de sectionnement à condition d'avoir un pouvoir de coupure suffisant.

Des disjoncteurs actionnés par une énergie extérieure (électricité, ou comprimé etc.) peuvent être également utilisés dans certaines conditions.

Il est admis par ailleurs que certains circuits ne soient pas coupés par le dispositif ; il s'agit entre autres des lampes d'éclairage et des prises de courant utilisées uniquement pour l'entretien et la réparation, des circuits de mesure et/ou de contrôle, etc. Il est toutefois recommandé d'équiper ces circuits de leur propre dispositif ou, si ce n'est le cas, des panneaux d'avertissement doivent être fixés à côté du dispositif de sectionnement des autres circuits, ainsi qu'à côté de chaque circuit exclu.

Enfin des dispositifs pour éviter une remise en marche intempestive, au cours de travaux de maintenance par exemple, doivent être fournis.

4.7. Partie de l'équipement placée sur la machine

4.7.1. Appareils électromécaniques

Sur la machine, chaque appareil électromécanique est repéré conformément au schéma électrique.

Chaque repère est gravé sur une plaque qui doit être fixée par vis ou rivets, près de l'appareil correspondant, en un endroit où elle soit bien lisible.

Lorsque plusieurs appareils électromécaniques placés en série dans le schéma sont montés sur le bâti de la machine, la recherche de pannes est facilitée si l'on « remonte » à l'armoire chaque conducteur servant à la mise en série (des bornes d'essai dûment repérées permettant alors de vérifier chaque appareil séparément, sans avoir à se déplacer).

Les appareils électromécaniques qui sont montés sur une machine, sont souvent soumis à des projections de fluides divers ou soumis à des risques de détérioration

mécanique ; ils doivent donc être choisis en fonction de ces risques conformément au chapitre 5.1.2 de la NF C 15-100.

En atmosphère agressive, les détecteurs de position à commande mécanique pourront être avantageusement remplacés par des détecteurs de proximité conformes aux dispositions du § 2 de l'article 8 du décret du 14 novembre 1988. S'ils assurent une fonction de sécurité, ces détecteurs doivent n'être influencés que par un élément bien particulier (aimant, bobinage de forme et de caractéristiques spéciales...) difficilement reproductible et fixé de manière inamovible à l'organe à détecter.

Pour assurer la sécurité du personnel intervenant sur une machine ou un ensemble de machines comprenant de nombreux moteurs commandés à partir d'une même armoire, il peut être utile de placer à proximité de chaque moteur, sur le circuit de puissance, un dispositif de séparation cadenassable possédant un pouvoir de coupure (interrupteur).

4.7.2. Liaisons électriques

Tous les conducteurs servant au raccordement électrique des appareils situés sur la machine sont repérés suivant le principe du repérage équipotentiel (un même repère pour tous les conducteurs reliés directement entre eux).

Des boîtes à bornes de dérivation doivent être disposées sur le bâti de la machine de façon à regrouper le câblage des différents appareils.

Ces boîtes à bornes doivent être placées au plus près des appareils à l'interconnexion desquels elles contribuent.

Dans les équipements de grande extension, il y a lieu de prévoir des boîtes à bornes de passage regroupant les liaisons de plusieurs boîtes à bornes de dérivation. Cette disposition évite qu'un trop grand nombre de câbles aboutissent à la boîte à bornes générale.

Une boîte à bornes générale regroupe toutes les liaisons entre les boîtes à bornes de dérivation ou de passage de l'armoire électrique.

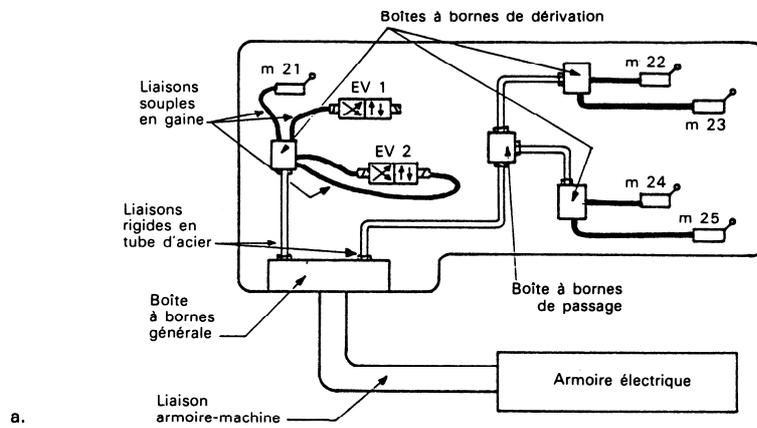
Compte tenu de ce qui précède, on doit éviter de multiplier sans nécessité les boîtes à bornes car, du fait des connexions, elles peuvent devenir des sources de pannes ; dans certains ateliers présentant des risques d'explosion, il est même recommandé de ramener l'ensemble des câbles à l'armoire principale, sans connexions intermédiaires.

Il existe deux techniques de liaison entre les appareils électriques :

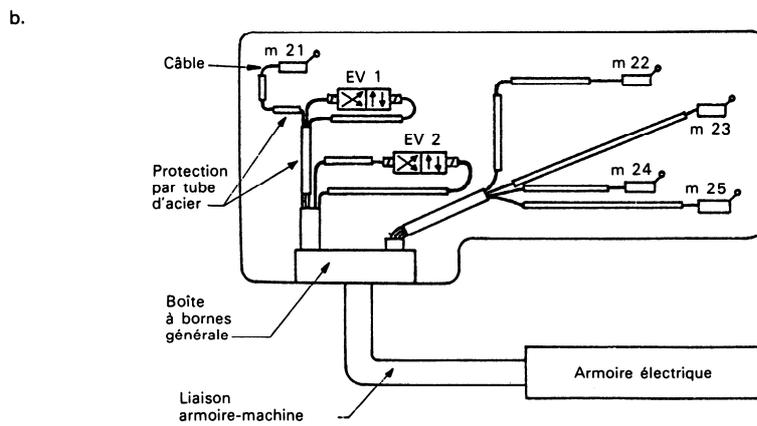
- la liaison par conducteurs séparés,
- la liaison par câbles.

Le tableau IX et la figure 31 indiquent comment il est recommandé de réaliser, dans ces deux cas, la protection des liaisons électriques à l'extérieur et à l'intérieur d'un bâti de machine.

Les conducteurs servant à réaliser les liaisons électriques envisagées ici ont généralement une section de 1,5 mm² (2,5 mm² s'ils ne sont pas protégés mécaniquement).



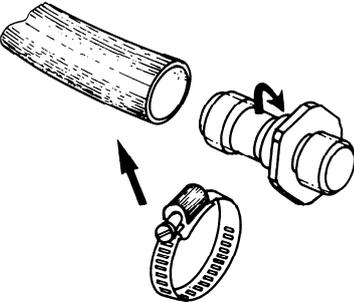
a.



b.

Fig. 31. - Protection des liaisons électriques à l'extérieur d'un bâti de machine
 a) Liaison par conducteurs séparés : protection mécanique intégrale
 b) Liaison par câbles : la protection mécanique discontinue est tolérable.

Tableau IX

A) Entre la boîte à bornes générale et les boîtes à bornes de dérivation		
	A l'extérieur du bâti	A l'intérieur du bâti (*)
Liaison par conducteurs séparés	Protection continue par tube d'acier (tube « chauffage ») sans raccords entre deux boîtes à bornes	Protection par gaine souple (**) (CNOMO) résistant aux huiles ; gaine annelée exclue Les gaines sont serrées par des colliers sur des raccords normalisés (CNOMO, cf. fig. 32 ci-dessous). Les pièces et organes mobiles doivent passer à plus de 25 mm des gaines
Liaison par câbles	Protection mécanique locale par tube d'acier	Pas de protection particulière Les pièces et organes mobiles doivent passer à plus de 25 mm des câbles
B) Entre la boîte à bornes de dérivation et les appareils électriques (la liaison doit alors toujours être souple même si les appareils ne se déplacent pas par rapport au bâti)		
Liaison par conducteurs séparés	Protection par gaine souple (**) (cf. ci-dessus)	
Liaison par câbles	Les câbles des catégories U-1000-SC-12-N (HO7-RN-F) ne nécessitent aucune protection particulière, mais il est recommandé de monter des presse-étoupe à ancrage	
		
<p>Fig. 32. – Raccord CNOMO</p>		

(*) Si pour son transport, la machine doit être divisée en sous-ensembles, aucune liaison électrique entre ces sous-ensembles ne doit passer à l'intérieur du bâti.

(**) Gaine souple métallique avec joints d'amiante renforcés si la température à son voisinage dépasse 70 °C.