

**Index**

<b>Différences entre les différents types de protection</b> .....	page 8 - 2
<b>Courbes de déclenchement typiques</b> .....	page 8 - 2
<b>Critères de sélection</b> .....	page 8 - 3
Disjoncteurs à protection thermique (TO)	
Disjoncteurs à protection magnéto-thermique (TM)	
Disjoncteurs à protection magnétique (MO)	
Disjoncteurs à protection hydrau-magnétique (HM)	
Protection électronique contre les surcharges en courant (EL)	
<b>Modes d'actionnement des disjoncteurs</b> .....	page 8 - 3
<b>Mécanisme de rupture instantanée</b> .....	page 8 - 3
<b>Déclenchement libre de toute influence extérieure</b> .....	page 8 - 3
<b>Raccords</b> .....	page 8 - 3
<b>Contacts auxiliaires</b> .....	page 8 - 3
<b>Brasabilité des raccords argentés</b> .....	page 8 - 4
<b>Courants nominaux, courbes de déclenchement</b> .....	page 8 - 4
<b>Comportement en température</b> .....	page 8 - 4
<b>Installation en série et comportement en température</b> .....	page 8 - 4
<b>Résistances internes typiques</b> .....	page 8 - 4
<b>Durée de service (ED)</b> .....	page 8 - 4
<b>Pouvoir de coupure <math>I_{cn}</math></b> .....	page 8 - 4
<b>Catégorie d'utilisation</b> (inductif et à faible induction).....	page 8 - 4
<b>Commutations</b> .....	page 8 - 4
<b>Degré de protection du matériel électrique selon VDE 0470</b> .....	page 8 - 5
<b>Degrés de protection préférentiels</b> .....	page 8 - 5
<b>Tolérances sur schémas d'encombrement</b> .....	page 8 - 5
<b>Sections de câbles</b> .....	page 8 - 6
selon EN 60 934	
pour véhicules de tourisme	
pour l'aéronautique	
<b>Description de l'état de commutation</b> .....	page 8 - 6
<b>Définition du contact repos et du contact de travail</b> .....	page 8 - 6
<b>Repérage des raccords</b> .....	page 8 - 6
<b>Symboles électriques importants</b> d'après DIN EN60617/IEC 60617 ou ANSI Y32.20/CSA/Z99.....	page 8 - 7
<b>Résistance des contacts:</b>	
Généralités.....	page 8 - 8
1. Physique de la résistance de contact entre deux métaux..	page 8 - 8
2. Influence des effets environnementaux sur la résistance de contact.....	page 8 - 9
3. Influence d'un microclimat sur la résistance des contacts.....	page 8 - 9
4. Domaine d'application des différents matériaux de contact.....	page 8 - 9
5. Mesure de la résistance des contacts .....	page 8 - 10

A notre connaissance, les informations contenues dans cette fiche technique sont exactes et fiables, malgré tout la société E-T-A n'accepte aucune responsabilité quant à l'utilisation de ce produit dans les applications qui ne répondent pas aux spécifications définies dans la présente fiche technique. La société E-T-A se réserve le droit de modifier, à tout moment et dans l'objectif du progrès technique, les spécifications contenues dans la présente fiche technique. Les côtes des produits peuvent être modifiées à tout moment, au besoin prière de demander la nouvelle version de la présente fiche technique avec les tolérances correspondantes. Les côtes, les caractéristiques, les illustrations et les descriptions correspondent à la dernière version valable lors de la parution de ce catalogue, mais sont sans garantie. Sous réserve de modifications, d'erreurs et de fautes d'impression. Les références de commande des appareils peuvent différer des indications se trouvant sur les fiches signalétiques des appareils.

**Différences entre les différents types de protection**

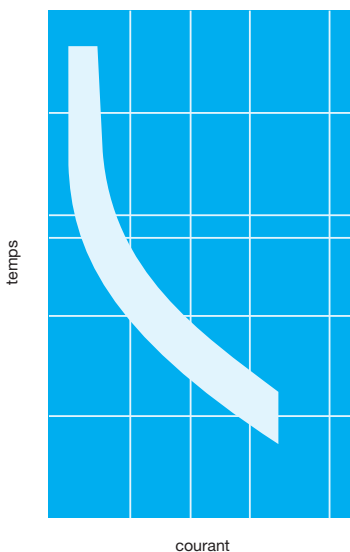
Les disjoncteurs pour équipement (DPE) protègent contre les surcharges et les courts-circuits, problèmes survenant souvent dans la pratique. Les critères permettant de choisir le disjoncteur adapté à chaque cas d'utilisation sont connus par les spécialistes d'E-T-A. Nous sommes là pour vous aider dans le choix du disjoncteur adéquat pour votre application.

**Il existe 4 différents types de disjoncteurs dans notre programme de vente:**

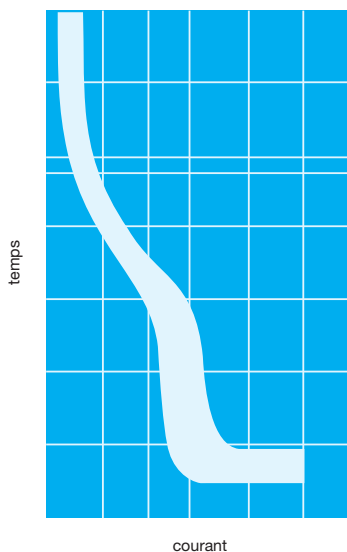
- les disjoncteurs avec protection thermique (TO)
- les disjoncteurs avec protection magnéto-thermique (TM)
- les disjoncteurs avec protection magnétique (MO)
- les disjoncteurs avec protection hydrau-magnétique (HM)
- protection électronique contre les surcharges en courant (EL)

**Courbes de déclenchement typiques**

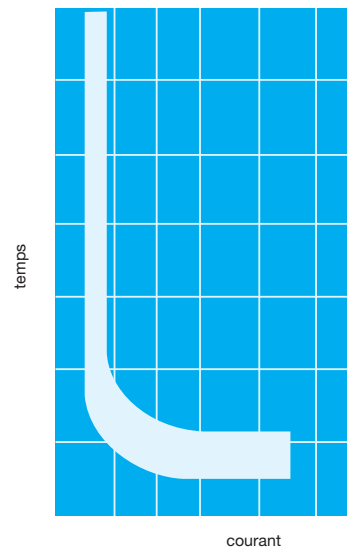
**thermique (TO)**



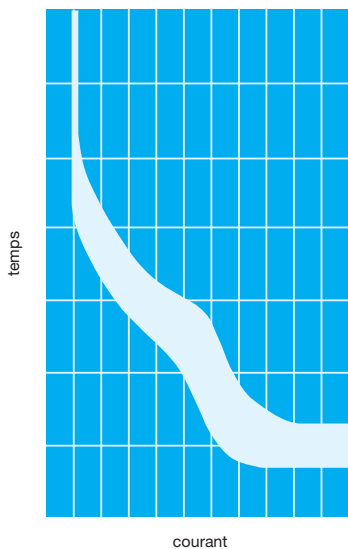
**magnéto-thermique (TM)**



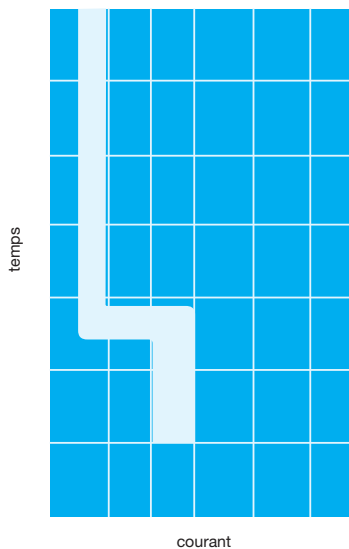
**magnétique (MO)**



**hydro-magnétique (HM)**



**electronique (EL)**



## Critères de sélection

### Disjoncteur à protection thermique (TO)

Dans les disjoncteurs munis d'un système de déclenchement thermique la temporisation de déclenchement dépend de la hauteur de la surcharge. Plus le courant de surcharge est élevé, plus rapidement le bilame atteint sa température de déclenchement. En cas de faible surcharge le temps de déclenchement est relativement élevé. Dans ce cas la séparation galvanique du circuit protégé est retardée. Les disjoncteurs thermiques sont utilisés lorsqu'il s'agit uniquement de protéger l'utilisateur contre les surcharges.

### Disjoncteurs à protection thermique, protection idéale pour:

les moteurs, les transformateurs, les vannes magnétiques, les circuits de bord dans les véhicules, les avions ou les bateaux ainsi que les lignes basse-tension.

### Disjoncteur à protection magnéto-thermique (TO)

Dans les disjoncteurs munis d'un système de déclenchement magnéto-thermique le déclenchement est commandé soit par une force électromagnétique, soit par la déviation du bilame due à une surcharge de celui-ci. La partie thermique du disjoncteur protège l'utilisateur en cas de surcharge avec déclenchement retardé. La partie magnétique du disjoncteur provoque le déclenchement quasi immédiat de celui-ci en cas de forte surcharge ou de court-circuit, la séparation galvanique du circuit protégé se fait en l'espace de quelques millisecondes.

### Disjoncteurs à protection magnéto-thermique, protection idéale pour:

les appareils et les installations électriques dans l'industrie de la télécommunication et de la transmission de données, pour les commandes à microprocesseurs ainsi que tous les autres cas d'utilisation demandant une réaction rapide en cas de forte surcharge ou de court-circuit.

### Disjoncteur à protection magnétique (MO)

Les disjoncteurs munis d'un système de déclenchement purement magnétique sont extrêmement rapides. En cas de court-circuit le circuit protégé est interrompu quasi instantanément. Le système de déclenchement est uniquement composé d'un électro-aimant commandant le disjoncteur. Le seuil de déclenchement de ces disjoncteurs peut varier sur une large plage de courants (voir fiche technique individuelle pour de plus amples détails).

Le déclenchement d'un disjoncteur magnétique dépend de la variation temporelle de la force magnétique et du champ magnétique, de ce fait le seuil de déclenchement d'un disjoncteur magnétique dépend de la forme (courant continu ou alternatif) du courant y circulant, par contre il est pratiquement indépendant des variations de température ambiante. En cas de courants de démarrage importants, il est possible d'utiliser des courbes de déclenchement spéciales, veuillez nous consulter dans ce cas.

### Disjoncteurs à protection magnétique, protection idéale pour:

les circuits imprimés (protection contre la rupture de piste en cas de court-circuit) ou les semi-conducteurs.

### Disjoncteur à protection hydrau-magnétique (HM)

Dans les disjoncteurs munis d'un système de déclenchement hydrau-magnétique le déclenchement est commandé par une combinaison entre un électro-aimant et un système de temporisation hydraulique. L'électro-aimant réagit pratiquement instantanément aux hautes surcharges et aux court-circuits et provoque la coupure du circuit protégé en l'espace de quelques millisecondes. Le système de temporisation hydraulique permet une coupure retardée en cas de faibles et de moyennes surcharges.

### Protection électronique contre les surcharges en courant (EL)

Un capteur de courant mesurant le courant circulant dans la charge à protéger est intégré dans la protection électronique contre les surcharges en courant. En cas de surcharge en courant, le circuit de charge est coupé après environ 5 secondes suivant la valeur de la résistance en ligne. En cas de court-circuit dans le circuit de charge, le courant de court-circuit est limité et le circuit de charge est coupé au bout de 10 à 100 ms. Ceci évite l'effondrement momentané de la tension d'alimentation. En plus, en cas d'utilisation du disjoncteur électronique du type ESS20, la charge protégée est isolée électriquement de la tension en cas de surcharge en courant. Protection contre les surcharges en courant avec courbe de déclenchement électronique: Protection de charges alimentées sous 24 V DC dans le secteur industriel et dans les automatismes (automates programmables, capteurs, modules de Bus de champ, actuateurs, etc.) ou dans les équipements de télécommunication (alimentés sous -48 V DC).

## Modes d'actionnement des disjoncteurs (selon EN 60934)

R-Type: réarmement manuel

M-Type: réarmement manuel et déclenchement manuel intermittent (pour le service)

S-Type: réarmement et déclenchement manuel (marche/arrêt)

J-Type: déclenchement et enclenchement automatique

## Mécanisme de rupture instantanée

Dans les disjoncteurs avec mécanisme de rupture instantanée la vitesse de fermeture des contacts est indépendante de la vitesse avec laquelle le système de commande (p. ex. bouton-poussoir, bascule, levier) est actionné. Le contact mobile en est retenu mécaniquement jusqu'à ce qu'une certaine valeur de force en direction de fermeture des contacts est atteinte par le système de commande. Dès que cette valeur de force est dépassée, l'effet retardateur mécanique est débloqué et les contacts sont fermés brusquement (contact instantané). La vitesse de fermeture dépend seulement de la valeur de force emmagasinée jusqu'à ce moment. En particulier la soudure des contacts en cas d'un enclenchement sur un court-circuit est évitée par ce mécanisme de rupture instantané. L'usure des contacts à la fermeture est également réduite durant toute la durée de vie.

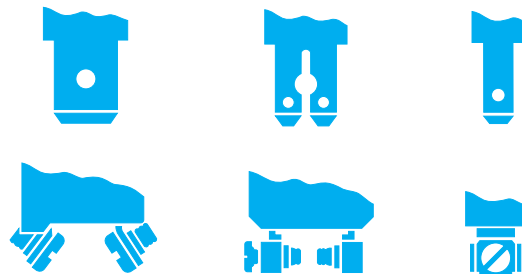
## Déclenchement libre de toute influence extérieure

Le système de déclenchement indépendant de toute influence mécanique extérieure équipant un grand nombre de disjoncteurs E-T-A assure le fonctionnement fiable de ceux-ci. Le fait de bloquer le bouton de réenclenchement ou la bascule ou le levier de commande n'empêche pas le disjoncteur de déclencher en cas de nécessité. La fonction de protection reste assurée indépendamment de toute influence mécanique extérieure au disjoncteur.



## Raccords

Selon le type de disjoncteur:



Picots à souder pour circuit imprimé également livrable.

## Contacts auxiliaires

Une partie des disjoncteurs E-T-A est équipée de contacts auxiliaires séparés galvaniquement du circuit principal. Ils servent à la signalisation de déclenchement du disjoncteur et à provoquer une alarme sonore ou lumineuse à l'aide d'un circuit électrique adéquat.

## Brasabilité des raccords argentés

La brasabilité des raccords argentés est limitée. Nos disjoncteurs avec raccords argentés sont livrés dans un emballage exempt de vapeurs (p.ex. soufre) nuisant à la brasabilité. Mais le stockage doit être effectué de façon professionnelle par l'utilisateur, c.à.d. dans des conditions de stockage selon CECC 32 101-002 et -003<sup>1)</sup>. Dans ce cas-là nous garantissons une brasabilité de 6 mois à partir de la date de livraison. Quand les appareils ne sont pas utilisés immédiatement, nous recommandons un conditionnement et un emballage de protection dans des sacs en polyéthylène, ce qui permet de rallonger durablement la durée du stockage. Un déshydratant supplémentaire, tel qu'un gel de silicate, ne doit pas être emballé dans ces sacs, ceci pouvant influencer négativement la brasabilité. Les décapants utilisés lors du brasage ne doivent pas contenir d'halogènes.

- 1) Conditions de stockage selon CECC 32 101-002 et -003:  
 Humidité relative de l'air  $\leq 75$  % en moyenne annuelle  
 $\leq 95$  % pendant 30 jours par an  
 Température  $-25...+45$  °C

## Courants nominaux, courbes de déclenchement

Sauf indications contraires, tous les disjoncteurs électromécaniques peuvent être chargés de façon continue avec le courant nominal. Ils déclenchent pour des valeurs de courant comprises entre 101 et 140 % du courant nominal, avec une temporisation comprise entre 40 secondes et 1 heure après application de la surcharge. Sur demande E-T-A livre également des disjoncteurs avec des tolérances plus serrées. Les disjoncteurs E-T-A réagissent quasi-instantanément. La temporisation de chaque type de disjoncteur (voir fiche technique individuelle) est vérifiée plusieurs fois au cours de la fabrication et sous des conditions extrêmes. Les zones de déclenchement pour les différentes valeurs de température ambiante sont représentées sur les fiches techniques individuelles des différents types de disjoncteurs.

La partie supérieure de la courbe de déclenchement indique la valeur max., la partie inférieure la valeur min. du courant de déclenchement en multiples du courant nominal.

## Comportement en température

Les tolérances de déclenchement sont indiquées sous forme graphique sur les fiches techniques individuelles pour une température ambiante de 23 °C. Afin de faciliter l'adaptation de la fonction de protection thermique des disjoncteurs aux exigences des circuits à protéger en cas de variations de température ambiante, les disjoncteurs thermiques et magnéto-thermiques E-T-A ne sont pas compensés en température. Au cas où les disjoncteurs sont constamment soumis à des températures très basses ou très élevées, il faut tenir compte des facteurs de correction du courant nominal. Le tableau suivant donne les facteurs de multiplication à appliquer au courant nominal pour obtenir le courant pouvant traverser le disjoncteur sans en entraîner le déclenchement.

Température ambiante °C	-20	-10	0	+23	+40	+50	+60
Facteur de correction (valeur approximative)	0,76	0,84	0,92	1	1,08	1,16	1,24

Exemple:  $I_N = 10$  A à 50 °C signifie  $10$  A x  $1,16 = 11,6$  A.  
 Courant nominal conseillé: 12 A.

La fonction de protection magnétique des disjoncteurs n'est pratiquement pas affectée par les variations de la température ambiante.

## Installation en série et comportement en température

En cas d'une installation en série avec une charge simultanée et constante, une influence thermique mutuelle apparaît. Cette influence est équivalente à une augmentation de la température ambiante. Elle dépend du courant nominal, de la température ambiante, du nombre de disjoncteurs ainsi que de la distance entre ceux-ci.

Le courant nominal du disjoncteur doit être surdimensionné (voir facteur de température pour la température ambiante) ou doit être réduit à une valeur inf. à 80 % de sa valeur nominale!

Veillez demander la limite maximum du courant admissible pour l'installation en série que vous envisagez.

## Résistances internes typiques

Les résistances internes sont des valeurs typiques pour les disjoncteurs à l'état neuf. Ces valeurs peuvent varier suite à un stockage, au cours de la durée de vie des disjoncteurs ou après déclenchement suite à une surcharge en courant. Des valeurs de résistances internes divergentes des valeurs à l'état neuf n'ont fondamentalement aucune influence sur la fonction de protection des disjoncteurs.

## Durée de service (ED)

Dans certaines applications des charges de courte durée et de courant élevé sont nécessitées (par ex. pour les bobines de déclenchement à distance ou pour des courants nominaux élevés). Afin de ne pas dépasser l'échauffement maximal permis, il est nécessaire de limiter la durée de service (valeur en % par rapport à la durée du cycle marche/arrêt).

Signification: par ex. 50 % ED / 60 min: Durée en charge 30 min  
 Durée au repos 30 min  
 ou  
 1 % ED / 10 sec: Durée en charge 0,1 sec  
 Durée au repos 9,9 sec.

## Pouvoir de coupure $I_{cn}$

Le pouvoir de coupure  $I_{cn}$  selon EN 60934 indique quel courant peut être commuté 3 fois de façon sûre par le disjoncteur standard. Cette commutation comprend une coupure sur court-circuit suivi de deux réenclenchement/déclenchement sur surcharge ou court-circuit. Après ces commutations le disjoncteur doit encore fonctionner sous certains réserves.

Le pouvoir de coupure selon UL 1077 indique quel courant peut être commuté 1 fois par le disjoncteur en cas de court-circuit, le disjoncteur ne devant plus fonctionner par la suite, le circuit devant rester impérativement dans la position «ouverte» et les pièces adjacentes ne devant pas être endommagées (fonction «Fail-Safe»).

Le pouvoir de coupure se réfère toujours au courant de court-circuit prospectif: c.à.d. au courant circulant dans le circuit de charge lorsque le disjoncteur y est remplacé par un pont de résistance quasi nulle.

## Catégorie d'utilisation (inductif et à faible induction)

En règle générale chaque circuit électrique comporte une induction plus ou moins importante renforçant l'arc électrique lors de l'ouverture du circuit électrique. Afin d'adapter les exigences de la norme CEI 60934, version 2001 à la pratique, une différenciation entre circuits inductifs et à faible induction y a été intégrée. Nos disjoncteurs sont testés en conséquence et les indications dans les fiches techniques ont été modifiées (par ex. pour la durée de vie) en fonction du type de charge,  $\cos \varphi \approx 0,6$  L/R  $\approx 2,5$  ms et  $\cos \varphi \approx 1,0$  L/R  $\approx 0$  ms.

## Commutations

La séquence de commutation en cas de court-circuit est indiquée par les abréviations suivantes:

### O déclenchement (open-ouvert)

Le disjoncteur est en position fermée au départ. Il est soumis à un courant de court-circuit déterminé par l'intermédiaire de contacteurs de puissance et il ouvre. Dans les anciennes normes ce type de commutation est désigné par co (closed open).

### CO Réenclenchement avec déclenchement subséquent (close/open - fermé/ouvert)

Le disjoncteur est en position ouverte au départ, le courant de court-circuit est présent. Le disjoncteur est réenclenché en présence du courant de court-circuit et rouvre aussitôt. Pour ce type de commutation, le déclenchement libre est exigé car l'élément servant au réenclenchement ne peut pas être relâché suffisamment vite avant le re-déclenchement. Dans les anciennes normes ce type de commutation est désigné par oco (open close open).

### t Pause entre les différents étapes de la séquence de commutation

Valeur standard: 3 minutes ou durée nécessitée pour assurer le réenclenchement sûr du disjoncteur.

Séquences standard: C-t-CO ou O-t-CO-t-CO

## Degré de protection du matériel électrique selon VDE 0470

Les notions suivantes: protection contre les projections d'eau, étanche à l'eau, étanche aux poussières, sont des expressions bien connues. Mais que signifient-les désignations IP21, IP44, IP68 dans les caractéristiques techniques du catalogue E-T-A? Les caractéristiques des disjoncteurs ne sont présentées que d'une façon chiffrée et leur sens est standardisé dans la norme DIN VDE 0470 (correspond à la version allemande des normes EN 60 529 ou CEI 529) pour les rendre comparables. Vous trouvez ci-joint quelques exemples pour l'identification des différents degrés de protection contre les contacts accidentels et les dégâts causés par un corps étranger.

Les degrés de protection pour la protection du matériel électrique à l'aide d'un blindage correspondant sont indiqués par un sigle qui se compose des lettres IP et de deux chiffres. Le premier chiffre indique la protection contre les contacts accidentels et les dégâts occasionnés par un corps étranger, le deuxième chiffre indique la protection contre l'eau.

Les deux lettres facultatives pouvant suivre le code IP indiquent l'accessibilité des pièces dangereuses à l'aide d'outils ainsi que par le mouvement du banc de test. Ces cas particuliers doivent être répertoriés dans la norme de produit correspondante. En règle générale l'indication des deux premiers chiffres est suffisante (voir description détaillée ci-dessus).

Exemple pour l'indication du degré de protection: IP 4 4



Premier chiffre: degrés de protection contre le contact accidentel et l'introduction de corps étrangers		
	Dénomination	Explication
0	matériel non protégé ou protection non spécifiée	Pas de protection particulière de personnes contre un contact accidentel avec des pièces sous tension ou en mouvement. Pas de protection du matériel contre l'introduction d'un corps solide.
1	protection contre l'introduction d'objets de 50 mm au moins (p.e. la main)	Protection contre un contact accidentel à grande surface, p. ex. la main, avec des pièces sous tension et en mouvement à l'intérieur de l'appareil; mais sans protection contre l'accès intentionnel.
2	protection contre l'introduction d'objets $\geq 12,5$ mm au moins (p.e. un doigt)	Protection contre un contact d'un doigt avec des pièces en mouvement à l'intérieur de l'appareil ou sous tension. Protection contre l'introduction de corps solides d'un diamètre d'au moins 12,5 mm.
3	protection contre l'introduction d'objets de 2,5mm au moins (p.e., des outils, des fils)	Protection contre un contact avec des pièces en mouvement à l'intérieur ou sous tension avec un outil, un fil ou une pièce similaire d'une épaisseur d'au moins 2,5 mm.
4	protection contre l'introduction d'objets de 1mm au moins (p.e., des outils, des fils)	Protection contre l'introduction de corps solides d'un diamètre d'au moins 1 mm. Protection contre un contact avec des pièces en mouvement à l'intérieur ou sous tension avec un outil, un fil ou une pièce similaire d'une épaisseur d'au moins 1 mm
5	protection contre des dépôts de poussières	Protection complète contre l'introduction de corps solides. Protection complète contre un contact avec des pièces en mouvement à l'intérieur de l'appareil ou sous tension. Protection contre des dépôts de poussières nuisibles. L'introduction de poussière n'est pas entièrement empêchée, mais la poussière ne doit pas s'introduire en une quantité suffisante pour nuire au bon fonctionnement de l'appareil.
6	matériel étanche aux poussières	Protection complète contre un contact avec des pièces en mouvement à l'intérieur de l'appareil ou sous tension. Protection totale contre l'introduction des poussières.

## Deuxième chiffre: Degrés de protection contre l'humidité

	Dénomination	Explication
0	matériel non protégé ou protection non spécifiée	Pas de protection spécifiée.
1	protection contre des chutes verticales de gouttes d'eau	Des gouttes d'eau en chute verticale ne doivent pas causer d'effets nuisibles.
2	protection contre des chutes de gouttes d'eau, inclinées de 15° maximum par rapport à la verticale	Des chutes de gouttes d'eau tombant sous un angle maximum de 15° par rapport à la verticale ne doivent pas causer d'effets nuisibles.
3	protection contre une pluie d'eau	Des pluies d'eau tombant sous un angle maximum de 60° par rapport à la verticale ne doivent pas causer d'effets nuisibles.
4	protection contre des projections d'eau	De l'eau projetée de toutes les directions contre le matériel ne doit pas causer d'effets nuisibles.
5	protection contre des fort jets d'eau	Un fort jet d'eau provenant d'un gicleur rotatif arrosant le matériel de toutes les directions ne doit pas causer d'effets nuisibles.
6	protection contre des paquets d'eau	Un fort jet d'eau provenant d'un gicleur rotatif arrosant le matériel de toutes les directions ne doit pas causer d'effets nuisibles.
7	protection contre une immersion occasionnelle	L'eau ne doit pas pénétrer en quantités nuisibles quand le matériel est plongé dans l'eau sous une pression définie et pendant une période définie.*
8	matériel submersible sous 1 m d'eau	L'eau ne doit pas pénétrer en quantités nuisibles quand le matériel est plongé dans l'eau sous une pression définie et pendant une période indéterminée.

## Degrés de protection préférentiels

Protection contre les contacts et contre l'introduction d'objets	Protection contre l'humidité							
	Indicatif littéral et premier chiffre	Deuxième chiffre						
		0	1	2	3	4	5	6
IP0	IP00							
IP2	IP20	IP21	IP22	IP23				
IP3	IP30	IP31	IP32	IP33				
IP5					IP54			
IP6						IP65	IP66	

Le degré de protection IP54 s'applique souvent au disjoncteurs avec capuchon de protection. Pour les bornes de connexion, les disjoncteurs ont souvent un type de protection différent, par exemple les bornes de connexion sont IP00 - le boîtier avec capuchon de protection est IP54.

## Tolérances sur schémas d'encombrement

Pour côtes sans indications directe de tolérance, c'est à dire sans limites indiquées explicitement, voir la série de tolérances fondamentales IT3 selon DIN ISO 286, chapitre 1 et 2.

Dimension nom. en mm		IT 13	Dimension nom. en mm		IT 13
supérieur à	jusqu'à	±	supérieur à	jusqu'à	±
-	3	0,14	315	400	0,89
3	6	0,18	400	500	0,97
6	10	0,22	500	630	1,1
10	18	0,27	630	800	1,25
18	30	0,33	800	1000	1,4
30	50	0,39	1000	1250	1,65
50	80	0,46	1250	1600	1,95
80	120	0,54	1600	2000	2,3
120	180	0,63	2000	2500	2,8
180	250	0,72	2500	3150	3,3
250	315	0,81			

## Sections de câble d'après EN 60934

Valeurs standardisées des sections des conducteurs en cuivre correspondant aux courants dimensionnés

Courants dimensionnés	jusqu'à 6	> 6 jusqu'à 13	> 13 jusqu'à 20	> 20 jusqu'à 25	> 25 jusqu'à 32	> 32 jusqu'à 50	> 50 jusqu'à 63	> 63 jusqu'à 80	> 80 jusqu'à 100	> 100 jusqu'à 125	
A	6	13	20	25	32	50	63	80	100	125	
Q	mm <sup>2</sup>	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50

## Sections de câble pour véhicules de tourisme

Calibre A	Section mm <sup>2</sup>	Calibre A	Section mm <sup>2</sup>
1	0,35 - 0,50	10	0,75 - 1,00
2	0,35 - 0,50	15	1,00 - 1,50
3	0,35 - 0,50	20	1,50 - 2,50
4	0,35 - 0,50	25	2,50
5	0,50	30	2,5 - 4,00
7,5	0,50 - 0,75		

## Sections de câbles pour l'aéronautique

Courant nominal (A)	section des câbles de raccordement		AWG	mm <sup>2</sup>
	en AWG EN 2350 EN 3841	MS 3320		
0,5	20	22	24	0,20
1	20	22	22	0,33
2	18	22	20	0,52
2,5	18	22	18	0,82
3	18	22	16	1,31
4	18	22	14	2,08
5	18	22	12	3,31
7,5	16	22	10	5,26
10	16	20	8	8,4
15	14	18	6	13,3
20	12	16	4	21,2
25			3	26,7
			2	33,6
			1	42,4

AWG = American Wire Gauge

## Description de l'état de commutation

La norme DIN 40719, édition parue en avril 1979, précise les représentations de l'état de commutation des commutateurs de la façon suivante:

### ● Télécommunication

La représentation en **état de marche** est utilisée dans la télécommunication.

Les fusibles et les disjoncteurs sont représentés en **état de marche**.

### ● Distribution d'énergie

La représentation à **l'état ouvert** est utilisée dans la distribution de l'énergie, dans la technique de l'installation ainsi que dans la technique du réglage automatique, dans la technique de commande et dans le traitement de données.

Tous les matériels sont représentés dans un état sans tension ou sans courant et sans influence d'une force de commande. Les disjoncteurs de puissance, les sectionneurs, les coupe-circuits automatiques ou autre matériel similaire sont représentés à **vide**. Ceci représente par conséquent la **position standardisée** (normally).

En vertu de cette définition E-T-A utilise **fondamentalement la représentation à vide et sans courant**.

## Définition du contact repos et du contact de travail

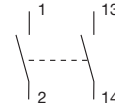
La définition d'après CEI Publication 50 (441) décrit les contacts de repos et les contacts de travail.

### Contact de travail

make-contact  
a-contact  
normally open  
(NO)

Contact de commande ou contact auxiliaire, fermé quand le contact principal du disjoncteur est fermé et ouvert quand le contact principal est ouvert.

Exemple:

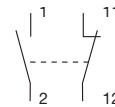


### Contact de repos

break-contact  
b-contact  
normally closed  
(NC)

Contact de commande ou contact auxiliaire, ouvert quand le contact principal disjoncteur est fermé et fermé quand le contact principal est ouvert.

Exemple:



### Commentaire:

Le raccord central des contacts inverseurs est souvent marqué d'un C (common), particulièrement dans les zones anglophones.

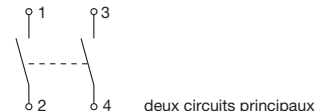
## Repérage des raccords

Les règles pour les repérages des raccords mentionnées ci-après répondent aux définitions de la norme DIN EN 50005. Mais les schémas électriques des exemples ont été adaptés à la nouvelle norme DIN EN 60617 (correspondant à la norme CEI 60617). Le repérage s'effectue toujours de façon centré, à droite du raccord.

### Circuits principaux

Numéros à un chiffre - une paire de chiffres consécutifs par élément de commutation principal

Exemple:



### Circuits auxiliaires

Numéros à deux chiffres

pos.	dizaines ordinal	unités chiffre de fonction
1,2	éléments de commutation allant ensemble, de fonction identique	contacts de repos et inverseurs
3		contacts de travail
4		contacts de travail et inverseurs
5,6		contacts de repos et inverseurs avec des fonctions particulières (p. ex. temporisé)
7		contacts de travail avec des fonctions particulières
8		contacts de travail et inverseurs avec des fonctions particulières

Exemple:



## Symboles électriques importants d'après DIN EN 60617/IEC 60617 et ANSI Y32.20/CSA Z99 (Normes anglaises)

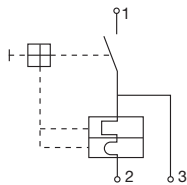
Dénomination	DIN EN 60 617/IEC 617	ANSI/CSA
Déclenché par un effet électro-magnétique	02-13-23	
Déclenché par un disjoncteur électro-magnétique (p. ex. protection contre un courant de surcharge)	02-13-24	
Commande par un disjoncteur thermique (p. ex. protection contre un courant de surcharge)	02-13-25	
Commande manuelle, en général	02-13-01	
Commande tirée	02-13-03	
Commande poussée	02-13-05	
Commande de rotation	02-13-04	
Entraînement mécanique, en général	02-13-20	
Système de déclenchement	07-13-11	
Déclenché par niveau de liquide	02-14-01	
Déclenché par écoulement, en général	02-14-03	
Déclenché par moteur	02-13-26	
Manostat d'asservissement, fermant		
Entâinement électro-mécanique, en général; bobine de relais, en général		
Entâinement par un enroulement actif		
Entâinement électro-mécanique avec temporisation de mise en service	07-15-08	SO
Entâinement électro-mécanique avec temporisation de déclenchement	07-15-07	SO
Entâinement électro-mécanique d'un relais électro-thermique	07-15-21	OL
Protection électro-magnétique contre courant de surcharge		SOL
Bobine à manque de tension (module de tension nulle)		
Commande électro-mécanique d'un relais polarisé	07-15-15	
Contact de travail; fonction de commutation, en général; interrupteur	07-02-01  07-02-02  ou	
Contact de repos	07-02-03	

Dénomination	DIN EN 60 617/IEC 617	ANSI/CSA
Inverseur avec interruption	07-02-04	
Inverseur avec position neutre «Arrêt»	07-02-05	
Disjoncteur de puissance -séparateur	07-13-05	
Interrupteur-séparateur, interrupteur à vide	07-13-06	
Interrupteur de puissance	07-13-08	
Interrupteur à commande manuelle, en général	07-07-01	
Interrupteur manométrique avec cran, pas de retour spontané («poussé-poussé»)		
Interrupteur à commande manuelle avec 3 positions, positions 2 et 3 sont des positions de crantage	1 2 3	
Interrupteur à tirette, contact de travail avec retour spontané (pas encliquetable)	07-07-03	
Interrupteur rotatif (encliquetable)	07-07-04	
Contacteur-interrupteur (contact de travail)	07-13-02	
Interrupteur électronique, en général	07-25-01	
Contacteur-interrupteur électronique (semi-conducteur)	07-25-02	
Interrupteur électronique, passage du courant possible dans un seul sens	07-25-03	
Relais électronique, en général représentée avec un contact de repos comme semi-conducteur	07-26-01	
Système interrupteur électronique avec un contact de travail comme semi-conducteur	07-26-04	
Contacteur-interrupteur ou relais avec 3 contacts de travail		x avec lettre d'identification
Contacteur-interrupteur tripolaire avec 3 disjoncteurs thermiques		OL
Interrupteur-séparateur tripolaire		DISC
Interrupteur-séparateur unipolaire avec cran, à commande manuelle, 1 contact repos et 1 contact de travail		
Interrupteur-séparateur unipolaire avec 2 contacts en parallèle à commande manuelle, cran et déclenchement à distance (FA), p. ex. E-T-A type 921		DISC
Disjoncteur de puissance tripolaire		CB
Disjoncteur tripolaire avec verrou de maintien et déclenchement thermique et électro-magnétique par courant de surcharge		

**Résistance des contacts**

**Généralités**

La mesure de la résistance des contacts d'un disjoncteur ou d'un contacteur peut apparaître à première vue comme un problème trivial, pouvant être résolu en quelques secondes à l'aide d'un ohmmètre. Si l'on observe le phénomène physique «résistance de contact» de plus près, on s'aperçoit rapidement qu'on touche à un problème extrêmement complexe qui ne peut pas être réduit à une simple mesure de résistance à l'aide d'un ohmmètre. Tout d'abord il faut se rendre à l'évidence que les bornes de raccordement accessibles à l'extérieur du disjoncteur ou du contacteur ne peuvent donner qu'un aperçu de la résistance interne totale de ceux-ci. Cette résistance interne est composée, pour un disjoncteur magnétothermique, de la résistance de la bobine, de celle des conducteurs, du bilame, des raccords (par ex. les points de soudure) et de la résistance des contacts. Pour mesurer cette dernière il faut ouvrir partiellement le disjoncteur, faire passer un certain courant dans les contacts puis mesurer directement la chute de tension aux bornes des contacts. Certains disjoncteurs sont munis d'une sortie dérivée (-3) reliée directement à la partie mobile des contacts. Dans ce cas de figure on obtient une première approximation de la résistance des contacts en mesurant entre la borne reliée aux contacts et la borne -3.

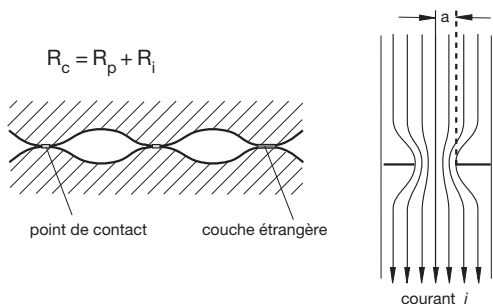


La relation entre la résistance des contacts et la résistance interne totale est naturellement très élevée pour les disjoncteurs à faible courant nominal du fait que la résistance interne totale se situe dans des ordres de grandeur exprimés en Ohm ou en KOhm, alors que entre la résistance des contacts se situe dans des ordres de grandeur exprimés en milli Ohm. Pour les disjoncteurs à fort courant nominal la résistance des contacts à une valeur du même ordre de grandeur que la résistance interne totale ou même plus élevée que celle-ci. Afin de pouvoir mesurer et interpréter correctement la mesure de la résistance des contacts il faut d'abord étudier de près la physique de la résistance de contact entre deux métaux.

**1. Physique de la résistance de contact entre deux métaux**

Les raisons de la présence d'une résistance de contact  $R_c$  sont divisées fondamentalement en deux catégories: celles pouvant être évitées et celles qui sont inévitables. Une résistance de contact est fondamentalement inévitables sur une surface métallique pure et plane. Elle apparaît à cause des régions de piégeage dues aux points de contact microscopiques (résistance de piégeage  $R_p$ ) et à la formation de couches moléculaires selon le modèle de Holm.

Modèle de la densité du courant



En partant sur la base d'un point de contact idéalisé de forme ronde, appelé «a-Spot», d'un rayon  $a$  et d'une résistance spécifique  $\rho$ , la résistance de piégeage  $R_p$  est la suivante:

$$R_p = \frac{\rho}{2 \cdot a}$$

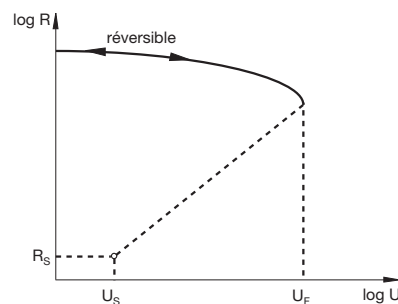
Si le point de contact microscopique est recouvert d'une fine couche étrangère, selon le modèle de Holm/1/ la résistance de la couche étrangère  $R_f$  est la suivante:

$$R_f = \frac{\sigma}{\pi \cdot a^2}$$

Dans ce cas  $\sigma$  est une grandeur empirique, appelée résistance de couche.

La résistance totale est alors:  $R_t = R_p + R_f$

Les raisons évitables sont la présence de couches isolantes (résistance d'isolement  $R_i$ ) dues à la pollution de l'air ou à des particules (poussières). La présence de ces particules sur les surfaces de contact peut être due au processus de fabrication ou à l'abrasion provoquée par le mouvement des contacts. Les couches isolantes sont divisées en deux catégories: les couches inorganiques provenant de la corrosion et les couches organiques formées de polymères. Ces deux types de couches isolantes peuvent être détruites par le mouvement des contacts par ex. par des mouvements de friction ou de pression. En cas de présence de couches inorganiques on peut également observer un effet secondaire nommé généralement effet de cohérence. Du fait que le mot «cohérence» est souvent utilisé à mauvais escient, nous voulons préciser ce concept par une courte explication: Si l'on applique une faible différence de potentiel aux bornes de deux contacts recouverts d'une couche isolante inorganique, on observe



tout d'abord la présence d'une résistance de contact très élevée. Lorsqu'on augmente peu à peu la valeur de cette différence de potentiel, la résistance de contact diminue lentement. A une certaine valeur de la différence de potentiel, dont la valeur varie en fonction du type et de l'épaisseur de la couche isolante inorganique, la résistance de contact tombe brusquement à une faible valeur résiduelle. Ce phénomène s'appelle «Phénomène de cohérence». La tension pour laquelle ce phénomène de cohérence apparaît s'appelle tension de cohérence  $U_F$ , la tension finale se trouvant aux bornes des contacts s'appelle tension de cohérence finale  $U_S$ . La tension de cohérence finale a généralement une valeur légèrement inférieure à la tension de fusion du matériau des contacts. La hauteur de la tension de cohérence dépend de l'épaisseur de la couche isolante inorganique. Les valeurs observées se trouvent aux alentours de quelques volts. De nos jours on pense que le phénomène de cohérence dans des couches qui ne sont pas des semi-conducteurs, est produit par une sorte d'émission par effet de champ. Du fait de la présence d'un champ électrique important, de plus en plus d'électrons sont projetés par effet tunnel au travers de la couche isolante et à un moment ou à un autre un canal métallique conducteur se forme. Ce phénomène est appelé généralement dans la littérature «cohérence de type A».

Si les surfaces de contacts sont déjà munies de points de contact métalliques ou si ces points se sont formés suite à un phénomène de cohérence, ces points microscopiques peuvent étendre leur surface et leur intensité de courant à la suite d'une augmentation de leur température. Dans ce cas la résistance de contact diminue en même temps que l'intensité du courant augmente, la tension de cohérence finale  $U_S$  restant constante. Ce phénomène est appelé généralement «cohérence de type B». Lorsque l'intensité du courant diminue à nouveau, la valeur de la résistance de contact reste constante. Le phénomène de cohérence ne doit pas être confondu avec le «nettoyage des contacts» par l'ouverture des contacts en présence d'une tension élevée, méthode souvent utilisée lors de la fabrication des contacts.

L'état de contacts recouverts d'une couche isolante peut être classifié en 3 catégories:

- **Isolement**  
La tension n'est pas suffisante pour démarrer l'effet de cohérence aux bornes du contact
- **Effet de cohérence**  
La tension est suffisante pour démarrer l'effet de cohérence aux bornes du contact
- **Contact métallique**  
La pression des contacts est suffisante pour détruire mécaniquement la couche isolante

*Remarque:* En cas de contact métallique, la surface de contact résultante  $A_k$  est uniquement fonction de la force  $F_k$  exercée sur les contacts et de la dureté  $H$  du matériau des contacts.

$$A_k = \frac{F_k}{H}$$

## 2. Influence des effets environnementaux sur la résistance de contact

Les couches isolantes apparaissant sur les matériaux des raccords argentés sont formées en général de cristaux de sulfure d'argent. Ce phénomène se visualise nettement par le noircissement des raccords de contact. Bien que les disjoncteurs aux raccords noircis soient renvoyés régulièrement à l'usine par les clients avec la mention «défectueux», ces disjoncteurs ne sont pas dans un état critique. Les cristaux de sulfure d'argent de forme allongée cassent facilement et sont généralement détruits par l'enfichage des alvéoles sur les raccords. Le soufre responsable de cet effet peut par exemple se trouver dans les cartons d'emballage. Les envois vers les régions tropicales à humidité élevée y sont particulièrement sensibles. Chez E-T-A nous utilisons uniquement des cartons d'emballage garantis sans soufre.

Les contacts argentés recouverts d'une fine couche d'or peuvent également avoir un comportement critique face au soufre. Des ions sulfureux se forment au niveau des pores de la couche d'or. Le sulfure d'argent se dépose sur la couche d'or et forme une couche massive. Une auréole noire, invisible à l'œil nu, se dépose autour de chaque pore.

Généralement ces auréoles de sulfure d'argent se laissent détruire mécaniquement. C'est pourquoi pratiquement tous les disjoncteurs E-T-A sont équipés obligatoirement de contacts décrivant des mouvements latéraux l'un par rapport à l'autre. Cette destruction mécanique n'est pas aussi efficace pour des contacts à base de nickel ou de cuivre.

Un autre effet non négligeable est la formation de points chauds dus à l'augmentation de la température des surfaces de contact. Cet effet survient en particulier dans les barres en cuivre ou lors de l'utilisation de nickel. Même lorsqu'au départ la résistance de contact due aux surfaces de contact de taille relativement importante est particulièrement faible, la diffusion de la corrosion du bord vers le centre des contacts resserre lentement la surface de contact. De ce fait la température des surfaces de contact augmente incessamment. Cet effet se renforce doucement puisque la diffusion de la corrosion progresse de façon exponentielle avec la température et cela a souvent pour conséquence finale la mise en panne du contact.

Pour résumer nous pouvons dire que les couches argentées sont attaquées par le sulfure d'argent. Le point critique est que la force des contacts reste suffisante pour établir un contact. Pour ceci il est absolument nécessaire de réaliser une fermeture dynamique des contacts (impact, glissement). La force des contacts doit être supérieure à 10 cN, car les phénomènes électriques eux même ne sont pas assez fiables pour ceci. En général il suffit de réaliser un capsulage des contacts, étanche à la poussière. L'addition d'autres substances à l'argent utilisé pour les contacts n'apporte pas d'améliorations décisives.

Le capsulage des contacts a pour effet négatif de créer un microclimat pouvant provoquer d'autres types de problèmes.

## 3. Influence d'un microclimat sur la résistance des contacts

Dans un disjoncteur capsulé se forme un milieu autonome nommé microclimat. La formation de ce microclimat est favorisée par les variations de température extérieures (température ambiante) ou intérieures (échauffement interne, bobine).

En particulier les matières plastiques formant les parois du disjoncteur peuvent dégazer. Par exemple la NASA a constaté la présence de 400 vapeurs organiques dans le Spacelab (représentant un système clos).

Si ces vapeurs de dégazage se déposent sur les surfaces de contact, elles forment sur les surfaces argentées une résistance de contact typique dépendante des charges. La valeur de ces résistances varie fortement.

Par contre la résistance des contacts dorés ne varie pratiquement pas aussi longtemps que la couche d'or est intacte. Après un certain nombre de manœuvres la couche d'or est détruite et le comportement des contacts dorés se rapproche de celui des contacts argentés.

## 4. Domaine d'application des différents matériaux de contact

De nos jours les matériaux à base d'oxydes argenteux au cadmium, à l'étain et au fer sont utilisés le plus communément dans les disjoncteurs servant à la protection des moteurs et des lignes électriques, pour des domaines de courant nominal allant de 0,1 à 100 A et de tension de 5 à 500 V. Pour les puissances de commutation plus élevées on utilise souvent les alliages Nickel-argent ou graphite-argent. Dans les cas particuliers il est également possible d'utiliser l'alliage Molybdène-argent. L'alliage Tungstène-argent n'est pratiquement plus utilisé mis à part de rares exceptions (par ex. pour les contacts avancés et les contacts d'usure). Ceci est dû au fait que cet alliage s'oxyde très facilement. Il est donc uniquement utilisable pour les moyennes et les hautes tensions car celle-ci sont assez élevées pour permettre le claquage des couches de wolframate ou pour des gros disjoncteurs où la force des contacts est suffisante pour détruire mécaniquement ces couches. Dans les domaines de courant nominal compris entre 100 mA et 5 A et de tension nominale comprise entre 5 et 100 V il est également possible d'utiliser des contacts en argent pur ou doré. Dans la technique des relais on utilise également l'alliage Palladium-argent.

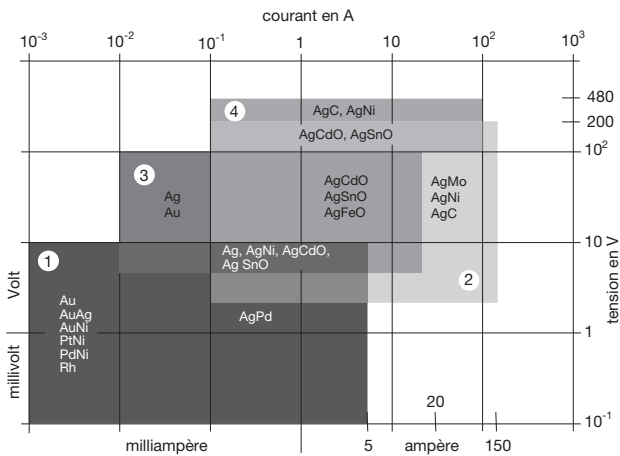
Dans les domaines de courant nominal de quelques mA ou  $\mu$ A et de tension nominale de quelques mV ou  $\mu$ V on utilise des alliages Or-Nickel, Platine-Nickel, Palladium-Nickel ou du Rhodium.

Pour les disjoncteurs pour équipement, les disjoncteurs de protection de moteurs et des disjoncteurs de puissance on utilise ce genre de métaux uniquement pour les contacts auxiliaires lorsque ceux-ci sont utilisés directement en combinaison avec un circuit électronique. L'or est très cher, c'est pourquoi les couches d'or déposées sur les contacts n'ont qu'une épaisseur de quelques  $\mu$ m cette couche est également appelée dorure superficielle.

Si l'on applique des tensions supérieures à 10 V ou des courants de plusieurs ampères à des contacts dorés, la couche d'or est très vite détruite par l'arc électrique de commutation et la faible résistance de contact, nécessitée pour les circuits électroniques, disparaît. Le circuit électronique peut interpréter la résistance élevée d'un contact fermé comme un contact ouvert ce qui peut entraîner des réactions erronées du système.

Pour la même raison il est absurde d'utiliser des contacts à base d'argent pour les contacts auxiliaires car l'argent n'est pas assez noble pour éviter la formation de couches isolantes sur leurs surfaces et les tensions aux bornes étant trop faibles pour claquer celles-ci.

Dans les domaines de courant nominal de quelques mA et de tension nominale de quelques mV on peut également utiliser des contacts en argent pur, ceux-ci sont plus avantageux que les contacts dorés à condition que leur surface de contact soit suffisamment grande. Il n'existe malheureusement pas de contact «All round» pour tous les cas d'utilisation. Pour chaque utilisation le constructeur choisit les matériaux adéquats en fonction des domaines de courant et de tension nominaux, des courants à commuter et des conditions environnementales. Pour les cas spéciaux, tels que «Courant nominal 10 A, courant d'utilisation continu 100 mA, utilisation sur des plates-formes de forage en mer», nos ingénieurs du département de développement cherchent à trouver un compromis adéquat, car si l'on utilise des disjoncteurs standards les ennuis sont inévitables.

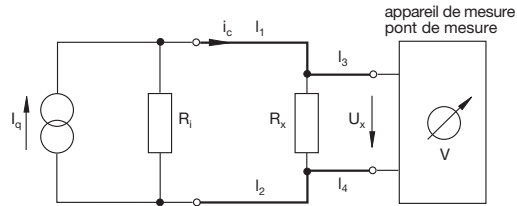


**Matériaux de contact, domaines d'application**

- ① Technique de mesure, de transmission de données, électronique en général, Contact auxiliaire
- ② Aéronautique, transport, navigation, haute technologie
- ③ Télécommunication, installations industrielles, construction d'appareils, technique médicale
- ④ Domotique, Hi-Fi, vidéo, outillage professionnel, machines de bureau, outils de bricolage et de jardinage, installations industrielles, construction d'appareils, technique médicale

**5. Mesure de la résistance des contacts**

La mesure des résistances ohmiques comprises entre 10<sup>5</sup> et 1 Ω est uniquement possible avec des méthodes particulières. Une de ces méthodes est basée sur le pont de mesure de Thomson. Dans ce cas la tension et le courant mesurés sont raccordés à des bornes de potentiel séparé afin de pouvoir compenser la résistance des câbles de raccordement (mesure quadri-filaire). L'étude de la physique de la résistance de contact entre deux métaux nous a montré clairement que le choix du courant et de la tension de mesure est primordial pour garantir la validité du résultat de la mesure. Les ohmmètres numériques ou les appareils de contrôle de continuité ont uniquement une tension de mesure maximale de 5 V et un courant de mesure limité à quelques milliampères. De tels appareils de mesure peuvent être utilisés pour la mesure de contact dorés, mais sont inadaptés pour la mesure des résistances de contact de paires de contacts d'oxydes argentés. Pour les contacts de puissance, travaillant dans des domaines de l'ordre de quelques ampères et de plusieurs dizaines de volt, une mesure avec 1 A/10 V a fait ses preuves. Dans ce cas l'objet à mesurer est raccordé à une source de courant constant électronique de 1A. La chute de tension aux bornes des contacts est mesurée à l'aide de deux câbles séparés et à l'aide d'un voltmètre à haute impédance (voir schéma ci-dessous). Ceci afin d'éviter les mesures et des interprétations erronées telles que «résistance de contact infinie».



**Mesure de la résistance des contacts**

- R<sub>x</sub> résistance de contact inconnue
- i<sub>c</sub> courant constant
- U<sub>x</sub> chute de tension mesurée aux bornes des contacts
- I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> câble de raccordement pour courant de mesure
- I<sub>3</sub>, I<sub>4</sub> câble de raccordement pour tension de mesure
- I<sub>q</sub> source de courant idéale
- R<sub>i</sub> résistance interne de la source de courant réelle

$$R_x = \frac{U_x}{i_c}$$

Lorsqu'on fait circuler un courant de I<sub>c</sub> = 1 A le voltmètre indique directement la valeur de la résistance de contact en Ω. La tension à vide mesurée aux bornes du contact ouvert ou recouvert d'une couche isolante est réglée par le choix judicieux de la source de courant constant. La valeur de la résistance interne R<sub>i</sub> et du courant I<sub>q</sub> de la source idéale donnent la valeur de la tension de test pour le banc d'essai. U<sub>vide</sub> = R<sub>i</sub> • I<sub>q</sub>. Les paramètres du banc de mesure étant ainsi déterminés, la mesure physique exacte de la résistance de contact est maintenant possible.

**Bibliographie**

- 1 R. Holm: Contacts Electriques, Editions Springer Berlin Heidelberg New York Tokyo 1967
- 2 A.Keil, W. A. Merl, E. Vanaricky: Contacts Electriques et leurs Matériaux, Editions Springer Berlin Heidelberg New York Tokyo 1984
- 3 Paul G. Stade: Principes des Contacts Electriques et leurs Applications, Editions Marcel Dekker Inc. New York Bâle 1999
- 4 W. Rieder: Contacts Electriques – Une introduction dans leur physique et leur technique. Editions VDE Berlin Offenbach 2000