

PROTECTION ET CONTRÔLE

DES MOTEURS TRIPHASÉS ASYNCHRONES

TECHNIQUE

GUIDE



Les applications industrielles requièrent un niveau de fiabilité sans concession. Celle-ci passe entre autres par la compatibilité technique et fonctionnelle des différents composants.

Les moteurs et leur protection constituent un exemple remarquable de la nécessité de cette complémentarité.

Legrand apportait déjà une réponse complète à tous les besoins de **protection**, de **commande**, de **raccordement** et de **mise à disposition de l'énergie** pour la grande majorité des applications de tous les domaines d'activité. Ce champ en est aujourd'hui étendu avec les nouvelles gammes de **disjoncteurs moteurs MPX³** et les **contacteurs CTX³**.

Les moteurs électriques sont partout présents. Il n'est pas possible de citer exhaustivement leurs usages : les travaux publics, les activités portuaires, la manutention, le convoyage, le traitement de l'air et de l'eau, le séchage, l'agriculture et toutes les machineries diverses et variées qui peuvent s'imaginer.

Même s'il existe des règles génériques, que ce guide rappelle, pour la protection des moteurs, celle-ci requière aussi des précautions particulières selon leur mode de fonctionnement ; la diversité de technologies de ces moteurs constituant par ailleurs un élément de connaissance déterminant.

Non sans avoir préalablement fait quelques rappels à ce titre, ce guide se veut l'outil indispensable pour la **sélection des dispositifs de protection des moteurs** parmi les gammes que Legrand propose dorénavant.

Le but est de répondre au plus juste et de façon immédiate à la majorité des besoins, avec l'appui d'informations techniques pour le choix et le dimensionnement et des conseils pour la mise en œuvre.

Que ce soit pour un coffret pour pompes de relevage, une centrale de traitement d'air, une chaufferie ou un processus d'automatismes, Legrand est le nouveau partenaire dans la **protection et la commande des moteurs**.

INFORMATIONS LÉGALES

Une attention particulière sur les photos de présentation qui n'incluent pas les équipements de protections individuelles qui restent une obligation légale et réglementaire.

Conformément à sa politique d'amélioration continue, la Société se réserve le droit de modifier les spécifications et les dessins sans préavis. Toutes les illustrations, les descriptions et les informations techniques contenues dans cette documentation sont fournies à titre indicatif et ne peuvent être tenues comme contraignantes pour la Société.

Pour répondre à ces besoins,
Legrand propose toute une gamme de produits

LEGRAND
ENERGY
EFFICIENCY 

SOMMAIRE

USAGE DES MOTEURS

Les grandes lignes	2
Généralités	4
Services types	8

LES TYPES DE MOTEURS

Les moteurs asynchrones triphasés	10
Les moteurs asynchrones monophasés	14
Les moteurs synchrones	16
Les moteurs à courant continu	18

DÉMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES

Les différents types de démarrage	22
Inversion du sens de marche	27
Arrêt des moteurs	27

PROTECTION DES MOTEURS

Avantages MPX ³ – RTX ³	29
Les relais thermiques RTX ³	34
Les disjoncteurs-moteurs MPX ³	36

COMMANDE DES MOTEURS

Avantages CTX ³	38
Catégories d'emploi en courant alternatif	40
Catégories d'emploi en courant continu	41
Conditions d'établissement et de coupure du courant	42
Applications des contacteurs en catégorie AC-1	43
Applications des contacteurs en catégorie AC-3	45
Applications des contacteurs en catégorie AC-2 / AC-4	48
Applications des contacteurs en catégorie DC-1 / DC-3, DC-5	50
Applications des contacteurs pour moteurs à bagues	51
Autres applications des contacteurs de puissance	52

LE DÉPART MOTEUR

Sectionnement	56
Interruption	56
Protection	56
Commutation	56
La coordination de type 1 et de type 2	56
Les fonctions du départ moteur	57
Éléments à prendre en compte	57

DOCUMENTATION

	62
--	----

USAGES DES MOTEURS

Les grandes lignes

La très grande majorité des machines comportent des moteurs électriques. La fiabilité de ceux-ci est donc un élément déterminant dans la continuité de fonctionnement de ces machines et dans leur durabilité. Le choix de leurs dispositifs de protection est alors essentiel.

Selon la complexité des installations et la fiabilité recherchée, différentes stratégies sont applicables. La protection par des disjoncteurs magnétothermiques standards éventuellement associés à des interrupteurs est applicable pour les cas simples de moteurs de faible puissance, peu sollicités et n'étant pas soumis à des cycles de démarrage récurrents.

Pour la très grande majorité des moteurs qui entrent dans des processus industriels ou sont intégrés à des machines, il est nécessaire de les commander et de les protéger avec des dispositifs spécifiques, tels que les disjoncteurs moteurs et les contacteurs.

Les causes de défaut sur les moteurs sont nombreuses, elles ont des effets variables mais au final les conséquences sont assez similaires : les claquages diélectriques ou les contraintes électrodynamiques des courts-circuits d'une part et les suréchauffements d'autre part qui peuvent tous amener des destructions d'enroulement et de mise hors service du moteur (voir tableau ci-dessous).

DÉFAUTS D'ORIGINE ÉLECTRIQUE	EFFETS ET CONSÉQUENCES
Court-circuit au niveau des enroulements	Destruction des enroulements par surintensité ou efforts électrodynamiques
Surtensions liées à la foudre	Claquage diélectrique et destruction des enroulements
Déséquilibre de tension	Réduction du couple utile, pertes supplémentaires et suréchauffement
Baisses et creux de tension	Réduction du couple utile, pertes supplémentaires et suréchauffement
DÉFAUTS D'ORIGINE MÉCANIQUE	EFFETS ET CONSÉQUENCES
Blocage de l'arbre	Surintensité modérée entraînant un suréchauffement des enroulements
Surcharge	Surintensité modérée mais longue entraînant un suréchauffement des enroulements
Démarrage trop long	Surintensité répétée pouvant entraîner à long terme un vieillissement prématuré par suréchauffement

Les dispositifs de protection doivent être étudiés et choisis avec des règles particulières aux moteurs : Les protections contre les courts-circuits doivent à la fois posséder un pouvoir de coupure du court-circuit mais également un pouvoir d'établissement (ou de fermeture) sur court-circuit ; le défaut pouvant être déjà présent à la fermeture du contacteur.

La surcharge constitue le risque le plus fréquent pour les moteurs. Elle se traduit par une augmentation du courant absorbé et par des effets thermiques qui réduisent la durée de vie par un vieillissement prématuré des isolants. A terme, la destruction de ceux-ci peut entraîner des courts-circuits entre les spires et de proche en proche la destruction totale de l'enroulement.

Le choix du relais thermique et son réglage sont **essentiels** pour composer une protection contre les surcharges qui soit fiable (éviter les déclenchements intempestifs) mais néanmoins efficace (protéger sur le long terme). Avant de revenir à la protection des moteurs et aux dispositifs à mettre en œuvre, la première partie de ce guide se propose de rappeler au lecteur quelques généralités sur les moteurs, leur diversité, leurs caractéristiques particulières et leur constitution.



USAGES DES MOTEURS

Généralités

Les moteurs électriques font partie de notre environnement quotidien et équipent aussi bien nos appareils électroménagers que les bâtiments qui nous entourent. Ils sont utilisés pour leur force motrice (effet d'entraînement) dans des applications très diverses.

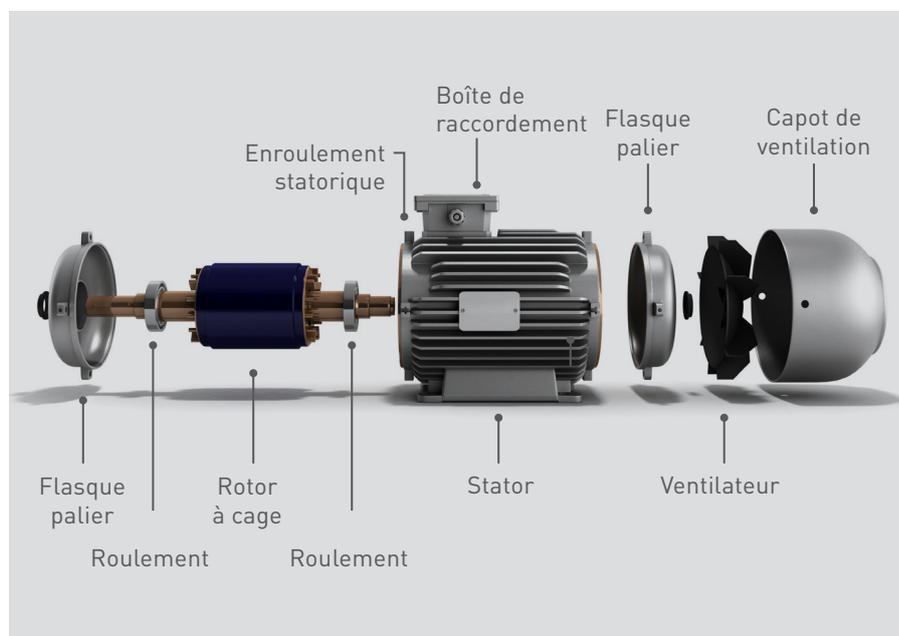
On distingue plusieurs types de moteurs électriques : les moteurs asynchrones couramment utilisés dans les applications tertiaires et industrielles. Les moteurs asynchrones monophasés utilisés plutôt dans les applications domestiques et les servitudes des bâtiments. Il existe d'autres moteurs comme les moteurs synchrones et les moteurs à courant continu, utilisés dans des applications plus spécifiques.

Si l'essentiel des moteurs présents dans notre environnement sont de type monophasé, certaines applications requièrent l'emploi de moteurs fonctionnant en régime triphasé, afin de développer une puissance plus importante. C'est notamment le cas des applications en environnement tertiaire et commercial (ventilation, climatisation, etc), en environnement industriel (pompes, air comprimé, chaînes d'assemblage) ainsi que dans les métiers de l'eau (pompage), de l'extraction des matériaux (convoyage, concassage) ou encore de la construction (levage). Les moteurs triphasés vont jusqu'à des puissances très élevées (plus de 400kW) mais la majorité d'entre eux sont de petite puissance : plus de 3/4 des moteurs triphasés asynchrones vendus sur le marché ont une puissance inférieure à 2.2kW 400V.

CONSTITUTION

Les moteurs sont composés de plusieurs éléments :

- Le **bâti** ou **carcasse** : il supporte toutes les parties fixes du moteur et les flasques de paliers.
- Le **stator** : il est composé d'enroulements de cuivre et génère le champ magnétique nécessaire à la rotation du rotor. Il est fixé contre les parois internes du bâti. Les extrémités de ses enroulements sont ramenées dans la boîte à bornes. Quoique plutôt réservé au moteur à courant continu, le terme d'inducteur est également utilisé.
- Le **rotor** : il est composé d'enroulements ou d'aimants permanents et transforme le champ magnétique en force motrice. Il délivre le couple sur l'arbre. Il peut être appelé « induit » dans les moteurs à courant continu.
- La **boîte à bornes** : elle sert au couplage des bobines entre elles et au raccordement de l'alimentation électrique.



Exemple d'un moteur asynchrone à rotor en court-circuit

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Les moteurs fonctionnent selon un principe commun qui est celui de l'induction. Il y a une relation entre le stator, qui génère le champ magnétique et le rotor, qui transmet la force motrice, avec un isolement galvanique entre les deux éléments.

L'alimentation du bobinage du stator génère une induction magnétique à laquelle est associé un champ magnétique à partir duquel est créée la force motrice.

Pour produire un mouvement de rotation, le rotor doit être soumis à deux flux alternatifs qui ne sont pas synchronisés dans le temps et qui sont appliqués en deux endroits distincts, décalés selon la direction du mouvement souhaité.

La différence entre la vitesse du champ tournant créée par le stator et la vitesse de rotation du rotor est nommée « glissement ».

Selon la nature du courant employé (alternatif monophasé, polyphasé, ou continu), la conception du stator, du rotor et les techniques utilisées seront différentes mais le principe fondamental reste identique.

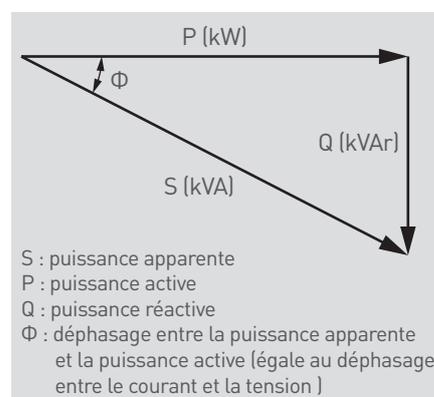
PUISSANCE ACTIVE ET PUISSANCE RÉACTIVE

Un moteur consomme une part de puissance active, qu'il transforme en force mécanique et une part de puissance réactive utilisée pour la magnétisation de ses enroulements mais qui ne participe pas à la force motrice. Le courant de magnétisation peut représenter 20% du courant total pour les moteurs à deux pôles et jusqu'à 60% pour les petits moteurs à 8 pôles. Il est indépendant de la charge mais dépend de la conception du stator et de la tension appliquée. Il est le plus élevé au moment du démarrage. Le facteur de puissance d'un moteur au démarrage est de l'ordre de 0.1 à 0.25, puis augmente à son maximum en phase d'accélération et redescend lorsqu'il s'approche de sa vitesse maximale.

La puissance active et la puissance réactive représentées respectivement par P et Q dans le diagramme suivant, donnent la puissance apparente S. Le ratio entre la puissance active, mesurée en kW et la puissance apparente, mesurée en kVa, est désigné sous le terme de facteur de puissance, ou $\text{Cos } \varphi$. Cette expression du $\text{Cos } \varphi$ par le rapport des puissances est possible car les moteurs constituent des charges linéaires en tant que tels. S'ils sont associés à des convertisseurs électroniques, il est préférable de se référer au facteur de puissance ($\text{Tan } \varphi$), qui prend en compte la puissance déformante (harmoniques). Cf Power Guide Livre 2 page 16 disponible sur legrand.fr

Le $\text{Cos } \varphi$ représente l'angle entre P et S et il s'établit généralement à une valeur comprise entre 0.7 et 0.9 pour les moteurs asynchrones. Dans les installations où les moteurs sont massivement présents, une part importante de puissance réactive est consommée et le facteur de puissance est dégradé. Cela se traduit par une hausse des coûts de fourniture en électricité et une augmentation du courant absorbé. Il est alors conseillé de corriger le facteur de puissance de l'installation grâce à l'emploi de batteries de condensateurs.

La compensation d'énergie réactive peut se faire de façon centralisée au niveau du point de livraison ou bien au plus près des récepteurs. Dans ce second cas, les condensateurs sont dimensionnés et dédiés à leur moteur. Ils sont connectés en parallèle avec le moteur, ou groupe de moteurs par l'intermédiaire de contacteurs qui peuvent alors être optimisés (courant réduit).



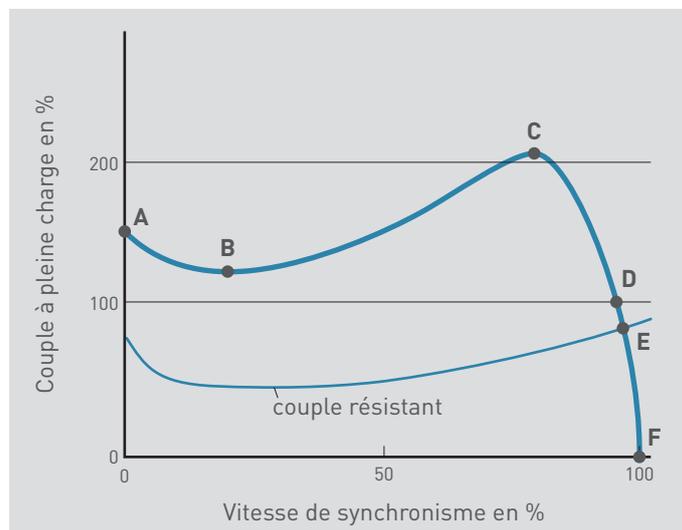
Consultez le guide technique :
Armoire de compensation automatique pour tableautier
téléchargeable sur le site <http://www.legrand.fr/>.

■ Le courant d'appel :

Caractéristique commune à tous les enroulements électriques soumis à une tension, l'énergisation du stator crée un pic de courant, de l'ordre de 5 à 8 fois le courant nominal du moteur voire plus pour les moteurs à haut rendement. Ce courant d'appel est une des caractéristiques fondamentales à prendre en compte pour le choix de l'appareil de protection et du type de démarrage (à vide, à pleine charge, sous tension réduite, avec variation de fréquence, etc.)

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT (SUITE)

■ Éléments caractéristiques de la courbe couple-vitesse d'un moteur :



A : Couple de démarrage ou couple de décollement : C'est la valeur de couple délivrée par le moteur lorsqu'il est mis sous tension, à l'instant où le rotor prend son mouvement. Il ne peut être appliqué que quelques fractions de secondes et il est directement proportionnel à la tension d'alimentation. Il est égal au couple nominal pour les moteurs synchrones. Il est donc important de vérifier la plage de tension d'utilisation du moteur dans ces conditions de démarrage et notamment de tenir compte de la chute de tension.

B : Couple d'accélération : C'est le point le plus bas sur la courbe correspondant à la période précédant l'accélération du moteur vers sa vitesse maximale. Il doit être supérieur au couple résistant afin de permettre l'accélération du moteur. Certains moteurs ne sont pas affectés par cette chute de couple et la valeur minimale reste celle du couple de démarrage.

C : Couple maximal : C'est le point maximal sur la courbe correspondant à la quantité de couple disponible sur l'arbre quand le moteur est alimenté à sa tension nominale. Une augmentation de l'effort demandé au moteur crée une baisse de vitesse de rotation du moteur (accroissement du glissement), jusqu'à cette valeur de couple maximal, au delà de laquelle le moteur peut devenir instable (décrochage). Le couple maximal doit être au moins égal à 1.6 fois le couple de service demandé, conformément aux normes, avec la possibilité de surcharger le moteur à cette valeur pendant 15 secondes, à fréquence et tension nominales.

D : Couple nominal (Nm) : C'est le couple disponible sur l'arbre à fréquence et tension nominales sans surchauffe. Les couples indiqués par les constructeurs de moteurs asynchrones sont donnés pour une température ambiante maximale de 30° C. Ces moteurs doivent garantir le couple nominal en fonctionnement continu sans dépasser leur valeur de température maximale. Il existe certains modes de fonctionnement (S2, S3, S6), où le couple nominal peut être dépassé sous réserve de respecter la valeur limite d'échauffement.

E : Point de travail : C'est la valeur à laquelle le couple disponible sur l'arbre rejoint le couple résistant.

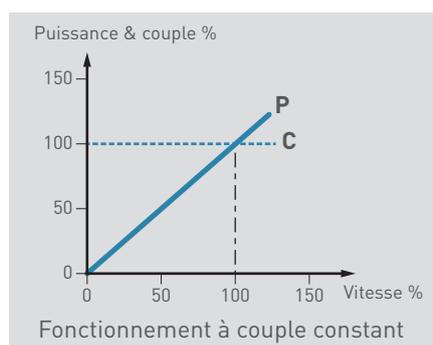
F : Vitesse de synchronisme : C'est la vitesse maximale théorique du moteur alimenté à sa tension nominale, à laquelle il développerait un couple égal à zéro. En pratique, elle correspond à la vitesse de rotation du champ tournant, donc proportionnelle à la fréquence d'alimentation et au nombre de pôles du stator.

LES DIFFÉRENTS TYPES DE CHARGE

Il existe de nombreux types de charges et donc de nombreuses courbes couple-vitesse. Les plus fréquents sont le couple constant, le couple avec variation de vitesse, le couple variable et des formes hybrides, avec par exemple un démarrage par couple élevé puis par couple constant. Selon le type de charge, il convient de définir le mode de démarrage. La charge du moteur est considérée comme stable quand le couple développé par le moteur est équivalent au couple de charge demandé.

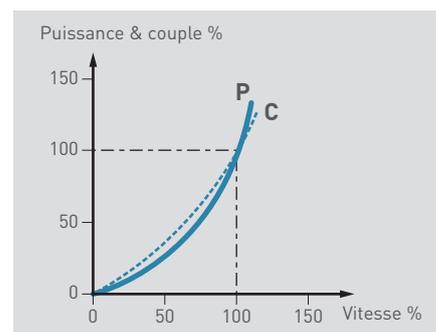
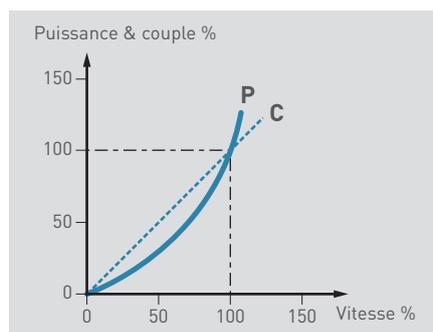
■ Fonctionnement à couple constant

A régime établi, le couple demandé est le même quelque soit la vitesse de rotation. Les applications sont par exemple les machines de levage ou les convoyeurs. Le couple fourni au démarrage (C_d) doit être suffisant pour contrer la résistance mécanique et accélérer la machine. $C_d \geq 1.5 \times C_n$.



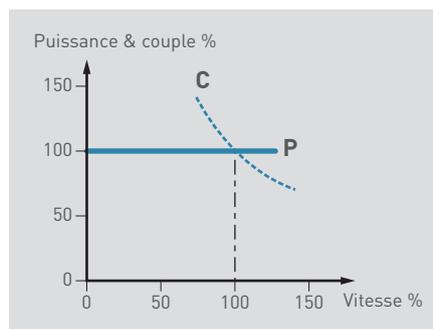
■ Fonctionnement avec couple croissant avec la vitesse

Le couple demandé augmente avec la vitesse de rotation. Selon les applications, le couple peut croître de façon linéaire (pompes volumétriques, extrudeuses) ou bien selon le carré de la vitesse (ventilateurs). Le couple demandé pour le démarrage est plus faible. $C_d \geq 1.2 \times C_n$.



■ Fonctionnement avec couple décroissant avec la vitesse

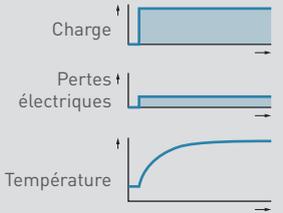
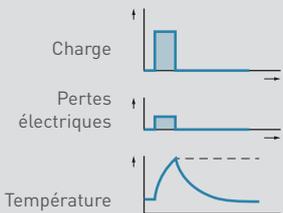
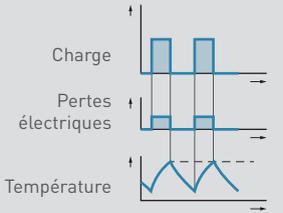
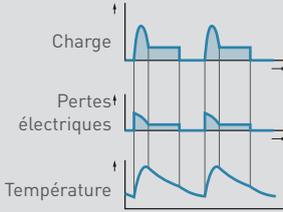
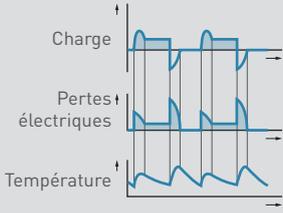
Le couple demandé diminue avec la vitesse de rotation. La puissance reste constante. Les applications sont plus restreintes (bobineuses).

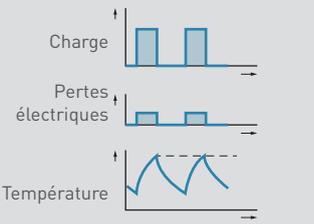
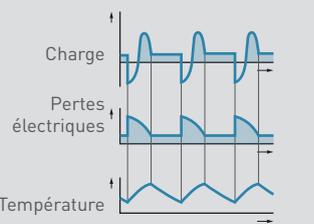
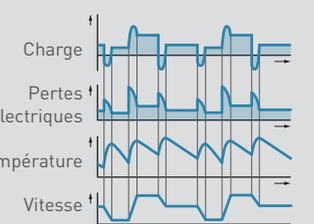
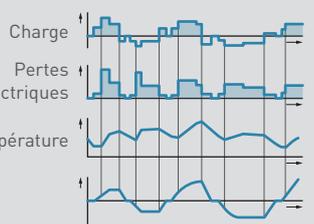
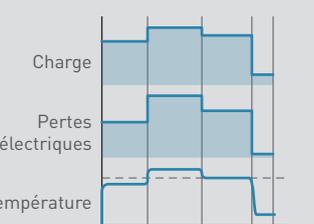


USAGES DES MOTEURS

LES SERVICES TYPES

Les services types permettent de sélectionner les moteurs selon leur nombre de démarrages et de freinages par unité de temps afin de tenir compte de l'échauffement généré dans les enroulements. Ces services sont définis par la norme IEC 34-1. Il existe plusieurs classes indiquées ci-après :

S1	Service continu	Fonctionnement à charge constante avec un temps suffisant pour que l'équilibre thermique soit atteint.	
S2	Service temporaire	Fonctionnement à charge constante pendant un temps déterminé inférieur au temps de l'équilibre thermique suivi d'un repos suffisant pour rétablir l'égalité de température entre le moteur et l'air ambiant. Ce service peut permettre une puissance utile supérieure à la puissance nominale.	
S3	Service intermittent	Répétition de cycles identiques comprenant chacun une période de fonctionnement à charge constante et une période de repos. L'intensité de démarrage n'affecte pas significativement l'échauffement du moteur. Ce service peut permettre une puissance utile supérieure à la puissance nominale.	
S4	Service intermittent périodique	Identique au service S3 mais avec période de démarrage longue affectant l'échauffement du moteur. Le cycle compte une période à marche constante et une période de repos. Les cycles sont trop courts pour que l'équilibre thermique soit atteint.	
S5	Service intermittent périodique à démarrages électriques	Répétition de cycles identiques comprenant chacun une période de démarrage, une période de fonctionnement à charge constante, une période de freinage électrique rapide, une période de repos. Les cycles sont trop courts pour que l'équilibre thermique soit atteint.	

S6	Service ininterrompu périodique à charge intermittente	Répétition de cycles identiques comprenant chacun une période de fonctionnement à charge constante et une période à vide sans période de repos.	
S7	Service ininterrompu périodique à démarrages et freinages électriques	Répétition de cycles identiques comprenant chacun une période de démarrage, une période de fonctionnement à charge constante, une période de freinage électrique, pas de période de repos. Les cycles sont trop courts pour que l'équilibre thermique soit atteint.	
S8	Service ininterrompu périodique à changement de vitesse	Répétition de cycles périodiques comprenant chacun une période de démarrage, de fonctionnement à charge constante suivi de périodes de fonctionnement à d'autres charges constantes et à d'autres vitesses de rotation. Il n'y a pas de période de repos. Les cycles sont trop courts pour que l'équilibre thermique soit atteint.	
S9	Service à changement de vitesse non périodique	Service dans lequel la charge et la vitesse varient en fonction de l'utilisation. Ce service permet de tenir compte des surcharges importantes.	
S10	Service avec charges constantes distinctes	Service comprenant au plus quatre valeurs distinctes de charges (ou charges équivalentes), chaque valeur étant appliquée pendant une durée suffisante pour que la machine atteigne l'équilibre thermique. La charge minimale pendant un cycle de charge peut avoir la valeur zéro (fonctionnement à vide ou temps de repos).	

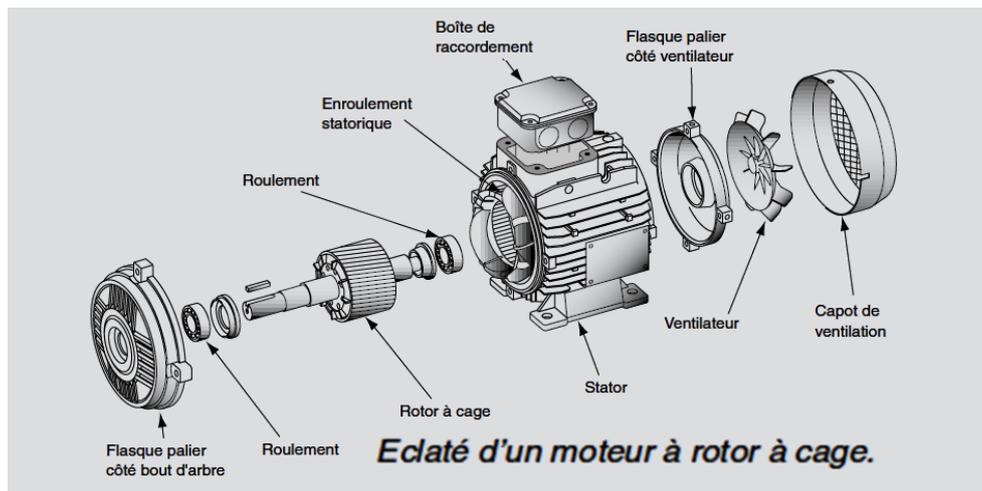
LES TYPES DE MOTEUR

Les moteurs asynchrones triphasés

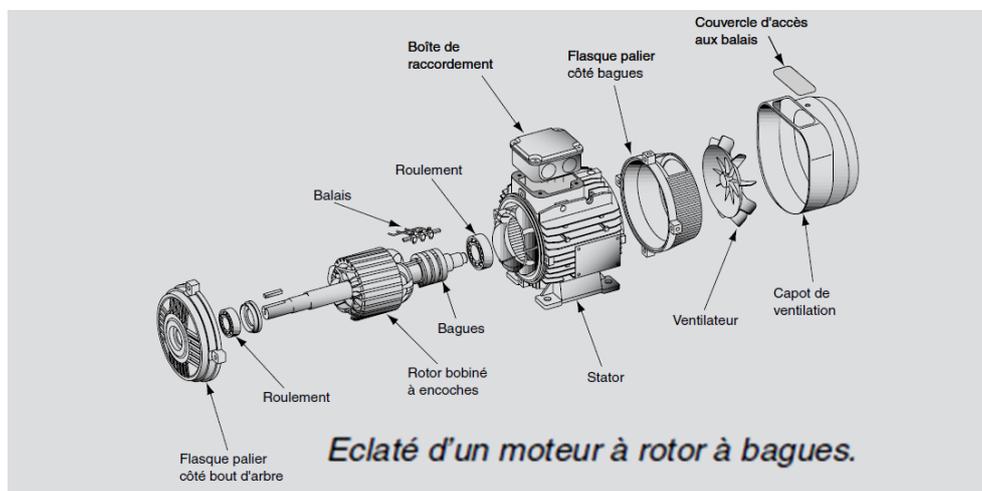
CONSTITUTION

Le moteur asynchrone est composé de plusieurs éléments tels que le bâti, le rotor, le stator, etc..(voir description en page 4). On distingue deux catégories de moteurs asynchrones selon le type de leur rotor :

- Les moteurs asynchrones à rotor en court-circuit, dits **moteurs à cage**. Ces moteurs sont les plus fréquemment utilisés, en raison de leur polyvalence, de leur conception simple et économique.



- Les moteurs asynchrones à rotor bobiné, dits **moteurs à bagues**, dans lesquelles l'enroulement du rotor se prolonge par des bagues auxquelles sont connectées des résistances étagées. La connexion avec ces bagues se fait par l'intermédiaire de balais. Leur usage est moins répandu en raison de leur mise en œuvre plus complexe et de leur coût.



Ces deux types de moteurs sont relativement proches en termes de construction et leurs principes de fonctionnement obéissent aux mêmes lois physiques.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

■ Le stator

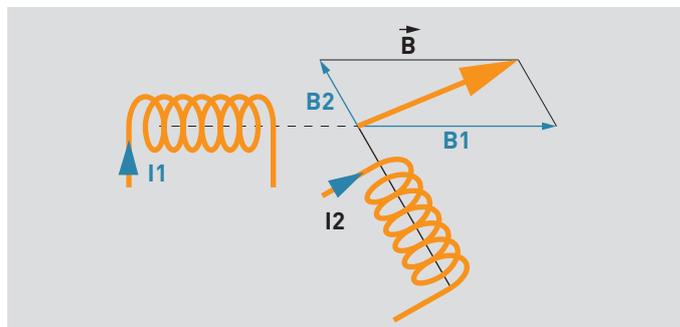
Le stator est fixé au corps du moteur et se compose d'un empilage de tôles très fines et de trois enroulements. En réseau triphasé, chaque enroulement est bobiné autour d'un noyau statorique et forme un électroaimant (une paire de pôles) lorsqu'il est relié à une phase du réseau.

Le moteur asynchrone triphasé alternatif est le seul à fonctionner grâce à l'alternance des phases du réseau électrique.

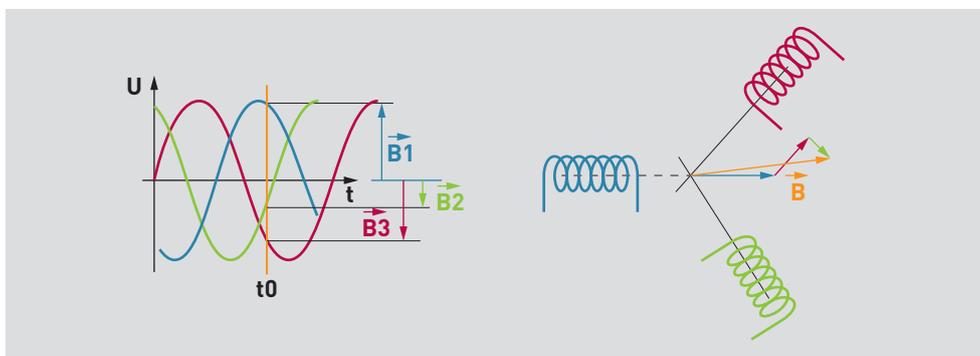
L'explication physique est la suivante :

La circulation d'un courant dans une bobine crée un **champ magnétique H**. Ce champ est dans l'axe de la bobine, sa direction et son intensité sont fonction du **courant I**. Si le courant est alternatif, le champ magnétique varie en sens et en direction à la même fréquence que le courant .

Si deux bobines sont placées à proximité l'une de l'autre, le champ magnétique résultant est la somme vectorielle des deux autres.



Dans le cas du moteur triphasé, les trois bobines sont positionnées dans le stator à 120° les unes des autres, ce qui crée trois champs magnétiques. Compte-tenu de la nature du courant sur le réseau triphasé, les trois champs sont déphasés.



Ainsi alimenté, le stator génère un champ magnétique, dit **champ statorique** tournant à une vitesse qui est dite de **synchronisme** (N_s). La fréquence de rotation de ce champ est liée à la fréquence du réseau et au nombre de paires de pôles de l'enroulement.
 $N_s = 60 \times F / P$ (F fréquence, P nb de pôles), en nombre de tours par minute (RPM).

LES TYPES DE MOTEURS

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT (SUITE)

■ Le rotor

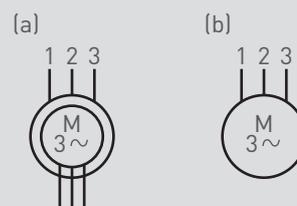
Le deuxième élément est le rotor, qui est lui, mobile. Il est composé d'un empilage de fines tôles métalliques isolées entre elles (afin d'éviter la circulation des courants de Foucault), d'enroulements et de conducteurs qui sont en court-circuit. Sa particularité est de réagir au champ magnétique généré par le stator, (le champ statorique). Selon la **loi de Lenz**, le courant induit dans le rotor s'oppose, par son champ magnétique aux effets du champ inducteur. Les variations de flux entre les enroulements statoriques et rotoriques se traduisent par l'apparition d'une force : le couple. Le rotor entre ainsi en rotation à une vitesse nominale (N) qui se rapproche de la vitesse de synchronisme (N_s) qui est la vitesse maximale de rotation liée à la fréquence de l'alimentation.

La différence de vitesse entre N_s et N est nommée vitesse de glissement, d'où l'emploi de l'appellation « **moteur asynchrone** » qui traduit cette différence de vitesse. Le glissement est exprimé en % de la vitesse de synchronisme et se calcule selon la formule suivante : $(N_s - N) / N_s$.

Quand le moteur est en phase de démarrage, la vitesse du rotor est nulle et la différence de vitesse de rotation du champ magnétique et celle du rotor est maximale, ce qui génère l'induction de forts courants rotoriques par l'absence de force contre électromotrice (c'est l'origine du fort courant d'appel). Quand le rotor accélère, la différence de vitesse se réduit et les courants rotoriques diminuent. La vitesse du rotor se stabilise à sa vitesse N.

■ L'entrefer

L'entrefer est l'interstice entre le rotor et le stator. Plus il est faible, meilleure est l'induction magnétique. La grandeur de l'entrefer contribue directement au rendement du moteur.



Symboles électriques du moteur asynchrone à rotor bobiné (a) et à cage d'écureuil (b)

■ Les quadrants

Les moteurs asynchrones peuvent fonctionner de quatre manières différentes, représentées graphiquement en quadrants :

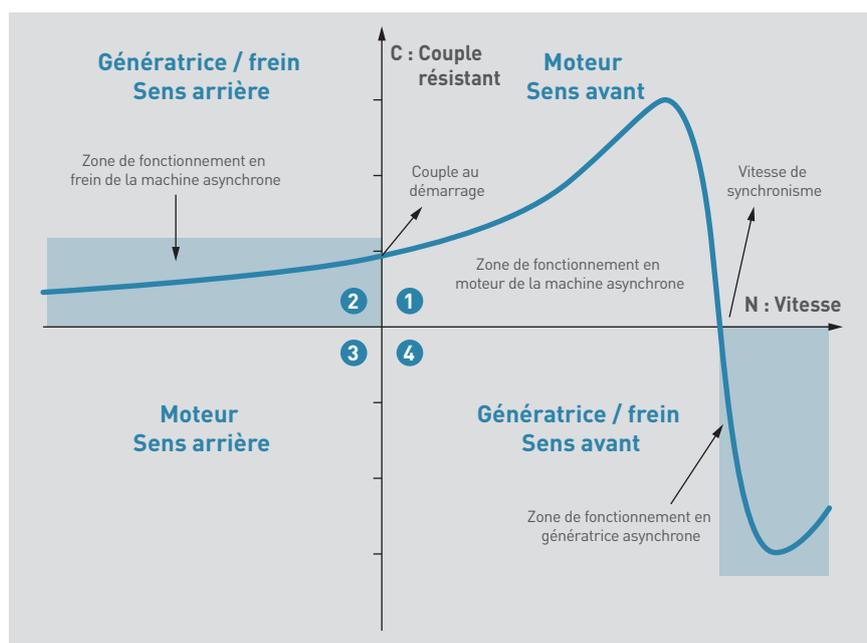
Quadrant 1 : En « **moteur sens avant** ». Le moteur tourne dans le sens avant, c'est-à-dire celui de la fréquence du réseau. Le couple est positif, autrement dit le moteur fournit du couple au rotor.

Quadrant 2 : En « **frein ou générateur sens arrière** ». Le moteur tourne dans le sens arrière, mais le couple est inversé et le moteur freine (Il absorbe une puissance mécanique). Pour ce faire, deux phases doivent être permutées pour inverser le champ tournant. La vitesse descend en dessous de la vitesse de synchronisme, on parle alors de freinage hyposynchrone.

Quadrant 3 : En « **moteur sens arrière** ». Le moteur tourne dans le sens opposé à celui de la fréquence du réseau. Le couple est positif.

Quadrant 4 : En « **frein ou générateur sens avant** ». Le moteur tourne dans le sens avant, le couple est inversé (Il absorbe une puissance mécanique). Pour ce faire, deux phases doivent être permutées pour inverser le champ tournant. Dans la phase hypersynchrone (note : zone grisée en bas à droite), le moteur est entraîné par sa charge au-delà de sa vitesse de synchronisme. Il se comporte alors comme un générateur asynchrone réinjectant de l'énergie sur le réseau.

Les trois domaines de fonctionnement de la machine asynchrone



LES TYPES DE MOTEURS

Les moteurs asynchrones monophasés

CONSTITUTION

Les moteurs monophasés sont construits comme les moteurs asynchrones triphasés. Ils sont de faible puissance et offrent une bonne longévité.

On les retrouve dans de nombreux équipements techniques qui ont besoin de tourner à une vitesse fixe (par exemple : outillage, pompes de relevage, ventilation).

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Ils fonctionnent selon le principe de l'induction, comme les moteurs triphasés. Mais en régime monophasé, il n'y a pas le décalage angulaire des trois phases qui crée le champ tournant. Il faut donc par des dispositions constructives créer les conditions de champ tournant notamment pour le démarrage.

Cela peut se faire grâce à deux bobinages physiquement décalés de 90° , parcourus par des courants déphasés. En régime monophasé, une seule phase est distribuée, il faut donc créer cette « deuxième phase » par son alimentation au travers d'un condensateur qui va déphaser le courant de 90° .

Le condensateur peut être connecté en permanence pour les moteurs les plus puissants ou connecté temporairement pour les moteurs de moindre puissance (à phase auxiliaire).

LES DIFFÉRENTS TYPES

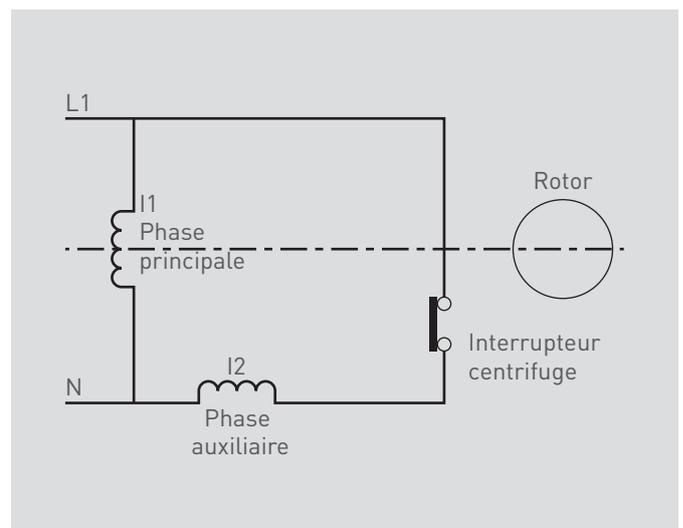
■ Moteur à phase auxiliaire résistive

Dans le cas du moteur à phase auxiliaire résistive, l'enroulement auxiliaire étant de plus petite section (donc de plus grande résistance) va s'échauffer. Il faut donc le déconnecter une fois que le moteur est lancé. Cela se fait grâce à un interrupteur centrifuge.

Ce type de moteur convient pour les applications demandant un démarrage occasionnel et un couple de démarrage modéré. Son faible couple de démarrage s'explique par le faible déphasage entre les courants.

Il est peu coûteux et est employé dans des applications telles que les petits ventilateurs, les pompes centrifuges. Le moteur à spires de Frager est une déclinaison de ce type de moteur, où la phase auxiliaire (bobinage) est remplacée par un conducteur décalé de 90° , placé sur le circuit magnétique du stator. Ce conducteur en court-circuit permet d'annuler une alternance du flux magnétique de manière à permettre au moteur de démarrer.

Son application reste limitée aux très petites puissances (petits ventilateurs, pompes, électroménager).



LES DIFFÉRENTS TYPES (SUITE)

■ Moteur à phase auxiliaire avec condensateur déconnectable

Ce moteur reprend les caractéristiques techniques du moteur à phase auxiliaire, (bobinage auxiliaire, interrupteur centrifuge) mais le condensateur monté en série avec l'enroulement auxiliaire crée un déphasage de 90° entre les courants parcourant le bobinage principal et le bobinage auxiliaire.

Il permet un couple de démarrage plus important. Il est utilisé pour des applications telles que les gros ventilateurs, les convoyeurs.

■ Moteur à phase auxiliaire avec condensateur permanent

Contrairement au moteur à phase auxiliaire déconnectée une fois le moteur lancé, celle du moteur à condensateur permanent reste alimentée après le démarrage (à travers un condensateur de faible capacité).

Ce moteur ne possède donc pas d'interrupteur centrifuge, ce qui simplifie sa conception. L'enroulement auxiliaire sert au démarrage et complète l'enroulement principal en créant un champ tournant régulier permanent.

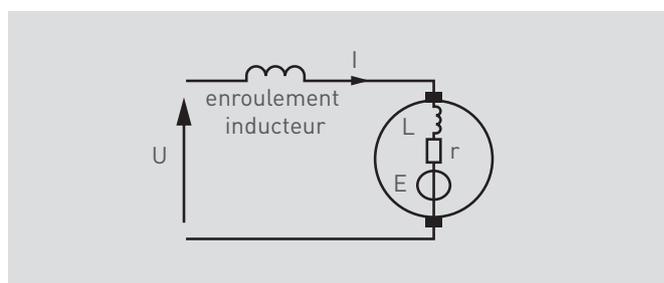
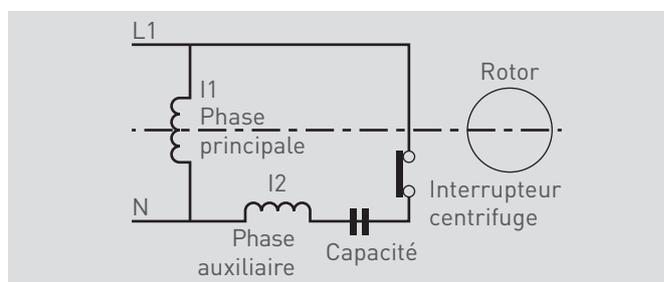
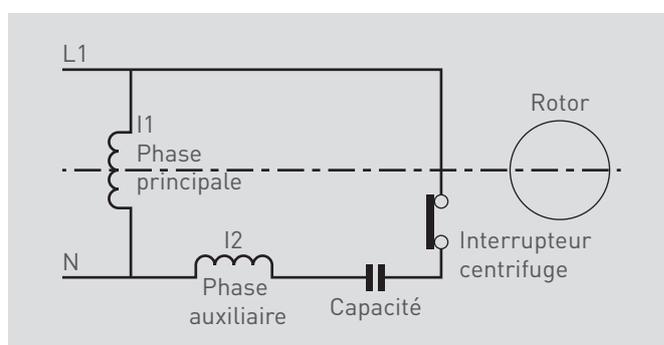
La puissance et le couple sont largement augmentés. Ce type de moteur est utilisé pour des puissances allant de quelques dizaines de watts à quelques kilowatts dans les équipements les plus divers tels que les compresseurs.

■ Moteur universel série

Ce moteur n'est pas un moteur asynchrone au sens strict du terme puisque il s'agit d'un moteur à courant continu à excitation série alimenté en courant alternatif. Les bobinages du rotor et du stator sont reliés en série, le courant qui les parcourt est donc le même. L'alternance de flux se produisant à la fois dans le rotor et dans le stator, il n'y a pas d'inversion relative des deux flux ; le moteur tourne dans un sens unique.

Ce type de moteur associe un couple de démarrage important à la possibilité d'atteindre des vitesses très élevées (jusqu'à 20000 tours par minute) et trouve son application dans le domaine de la traction.

À de faibles puissances, on retrouve également ce type de moteur dans des applications domestiques telles que l'outillage électroportatif. Pour ce type d'usage, son rendement est généralement médiocre et sa durée de vie limitée.



LES TYPES DE MOTEURS

Les moteurs synchrones

Le moteur est dit synchrone car sa vitesse de rotation est égale à sa vitesse de synchronisme. La vitesse est indépendante de la charge et de la tension d'alimentation.

Par rapport au moteur asynchrone, le moteur synchrone a un rendement qui est toujours élevé ainsi qu'un meilleur facteur de puissance, proche de 1. Son encombrement est inférieur surtout pour ceux ayant une vitesse de rotation faible (300 tours par minute). La simple alimentation sous tension nominale ne permet pas de le faire démarrer (contrairement au moteur asynchrone). Il faut donc un moyen associé pour lui permettre d'atteindre (accrocher) la vitesse de synchronisme.

CONSTITUTION

Le moteur synchrone se compose, comme le moteur asynchrone, d'un stator et d'un rotor séparés par un entrefer. La différence se situe au niveau de la conception du rotor.

Le stator d'un moteur triphasé (le plus courant en moyenne et grosse puissance), comme son nom l'indique, est la partie statique du moteur synchrone et partage l'essentiel des caractéristiques du stator des moteurs asynchrone.

Il se compose de la carcasse, des paliers, des flasques de palier, du ventilateur refroidissant le moteur, du capot protégeant le ventilateur et pour la partie électrique un noyau en fer feuilleté qui canalise le flux magnétique et les enroulements des trois phases logés dans les encoches du noyau avec un décalage de 120° les uns par rapport aux autres.

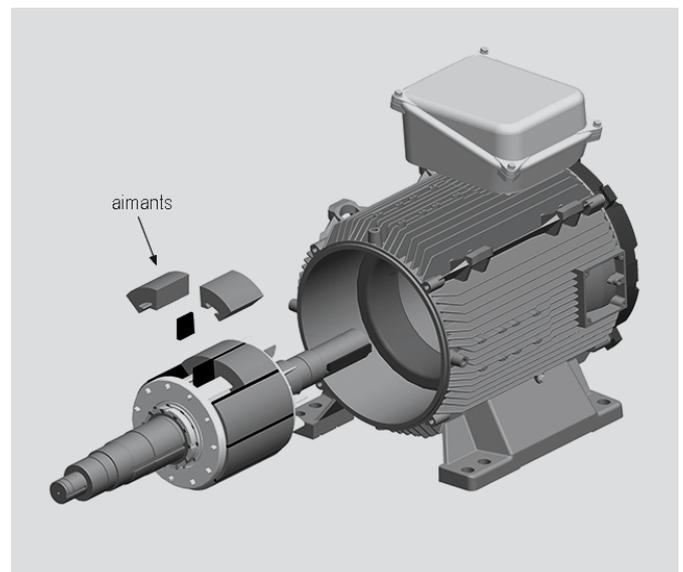
Comme dans le stator du moteur, des enroulements sont logés dans des encoches pratiquées sur le rotor et reliés électriquement aux bagues de bout d'arbre.

Le rotor peut être à pôles saillants constitués d'aimants permanents ou d'électroaimants alimentés en courant continu.

Les moteurs à rotor à aimants permanents : Ce sont des moteurs qui peuvent accepter des courants de surcharge importants pour démarrer rapidement. Ils sont généralement d'une puissance de quelques kilowatts.

Les moteurs à rotor bobiné : L'alimentation du rotor en courant continu s'effectue via l'ensemble bagues-balais. Pour les moyennes et grosses puissances, les moteurs synchrones à rotor bobiné, associé avec un variateur de vitesse, procurent un excellent niveau de performance.

Ces machines sont réversibles, elles peuvent fonctionner en régime moteur comme en régime alternateur.

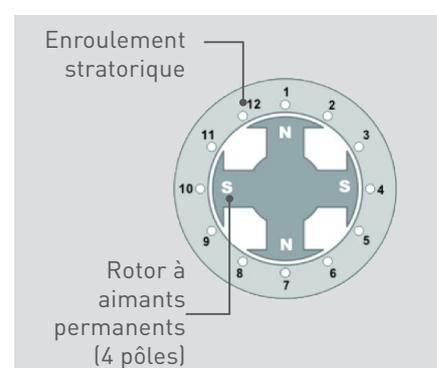


PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Les enroulements au stator sont alimentés par les trois phases du réseau afin de produire le champ tournant à la vitesse de synchronisme (N_s). Ils sont construits de façon à former une alternance de pôles Nord et Sud.

Qu'il soit à aimants permanents ou bobiné, le rotor est également constitué d'une alternance de pôles Nord et Sud. Son flux magnétique est constant.

Grâce à l'attraction entre les pôles opposés entre le stator et le rotor, le champ tournant du stator entraîne rotation du rotor.



La vitesse de rotation du rotor est caractérisée par la formule suivante : $N = N_s = 120 \times (f) / \text{Nb de pôles par phase}$.

DÉMARRAGE

Lorsque le moteur est alimenté, le pôle Nord du rotor est attiré par le pôle Sud du champ tournant. Si sa vitesse est nulle, le pôle Nord du rotor commence à bouger dans la direction du pôle Sud du champ tournant. Mais compte tenu de l'inertie du rotor, le pôle Sud du champ tournant est pendant ce temps remplacé par le pôle Nord et provoque alors une force répulsive, ce qui entraîne alors le rotor dans le sens opposé. Dans ces conditions le moteur ne peut pas démarrer.

Pour que le moteur démarre, il faut lancer le rotor pour « accrocher » le champ tournant. Cela peut se faire en associant un moteur asynchrone pour le lancement ou en disposant par construction d'une cage d'écureuil permettant de démarrer le moteur en mode asynchrone. Lorsque la vitesse du rotor avoisine la vitesse de synchronisme, on alimente ce dernier en courant continu. Cette phase d'accrochage ou de synchronisation n'est possible que lorsque le stator et le rotor présentent entre eux des pôles opposés. Il est possible de lancer un tel moteur sans aide mécanique extérieure en l'alimentant par un démarreur qui va augmenter progressivement la fréquence d'alimentation du stator et la tension d'alimentation du rotor jusqu'au synchronisme.

LES TYPES DE MOTEURS

Les moteurs à courant continu

CONSTITUTION

A l'instar du moteur asynchrone et du moteur synchrone, le moteur à courant continu est composé de plusieurs éléments.

- **Le bâti** : il supporte toutes les parties fixes et les flasques de paliers. Il est généralement en acier coulé ou en fonte.
- **Le stator** :
 - Les pôles inducteurs : ils sont constitués par un assemblage de tôles en acier au silicium d'une épaisseur d'environ 0,5 à 1.5 mm, isolées entre elles par une oxydation naturelle. On peut parfois rencontrer des pôles massifs.
 - Les bobines : elles sont reliées en série et réalisées avec du fil de cuivre isolé enroulé autour du noyau polaire afin de réaliser un électroaimant. Le nombre de pôles est pair ; ils sont successivement Nord, Sud. Il peut arriver que le stator soit à aimants permanents.
 - Les pôles auxiliaires : ils sont en série avec les pôles principaux et servent à réduire les étincelles aux balais.
- **Le rotor** :
 - Il s'agit de l'induit. Il est feuilleté et a la forme d'un cylindre dans lequel sont réalisées des encoches. Les tôles sont en acier au silicium d'une épaisseur d'environ 0.2mm et sont isolées entre elles par oxydation ou par du vernis. Elles sont montées sur l'arbre de la machine. Dans les encoches sont placés des conducteurs actifs.
 - Les bobines sur le rotor sont alimentées en courant continu par le biais des balais en carbone via le collecteur situé à l'extrémité de l'arbre. Les porte-balais sont fixés sur l'inducteur et maintiennent les balais en friction sur le collecteur grâce à des ressorts. Ils sont placés dans l'axe des pôles principaux.
- L'espace vide entre l'inducteur et l'induit s'appelle **l'entrefer**. Plus cet espace est faible, plus les pertes magnétiques sont réduites.
- **Le boîtier de raccordement** : il sert à effectuer la connexion avec le réseau électrique.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Contrairement au champ tournant généré au stator d'un moteur asynchrone, le champ magnétique au stator du moteur à courant continu est fixe. L'inducteur crée un flux magnétique F constant si le courant d'excitation qui le traverse reste constant. L'induit est alimenté par une tension continue à travers l'ensemble collecteur/balais. Les conducteurs de l'induit sont parcourus par un courant I , dans un champ magnétique créé par l'inducteur.

Ces conducteurs sont soumis à des forces électromagnétiques; selon la loi de Laplace, un conducteur traversé par un courant et placé dans un champ magnétique est soumis à une force dont le sens est déterminé par la règle des trois doigts de la main droite :

i Pour déterminer le sens de la force, il faut placer les trois doigts (pouce, index, majeur) perpendiculairement entre eux. Le pouce se place dans le sens du champ (le sens des lignes d'induction est toujours du N au S à l'extérieur d'un aimant et du S au N à l'intérieur). Le majeur se place dans le sens du courant (sens conventionnel toujours du + vers le -). L'index détermine alors le sens de la force.

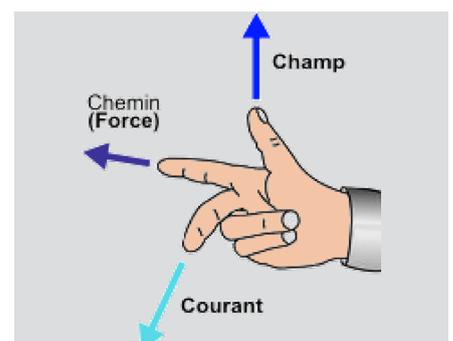
$$F = B * I * L$$

F : Force en Newtons

B : Induction magnétique en teslas

I : Intensité dans le conducteur en ampères

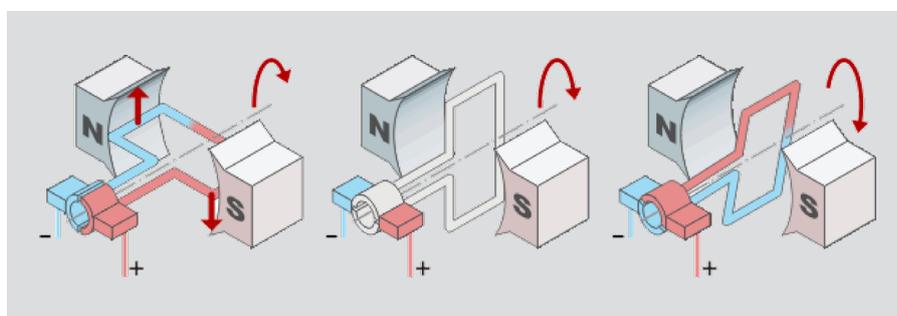
L : Longueur du conducteur en mètres



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT (SUITE)

Le couple de forces crée un couple de rotation qui fait dévier la spire de 90 degrés par rapport au plan vertical, le sens du courant restant inchangé dans la spire.

Durant ce déplacement, le couple de rotation diminue progressivement jusqu'à s'annuler après rotation de la bobine de plus ou moins 90 degrés, en zone neutre, la spire se trouvant en position horizontale et perpendiculaire aux aimants naturels.



Pour obtenir une rotation sans à-coup, l'enroulement d'induit doit être constitué d'un nombre élevé de spires. Celles-ci sont réparties régulièrement sur le pourtour du rotor afin d'obtenir un couple indépendant de l'angle de rotation. Après le passage de la zone neutre, le sens du courant est inversé simultanément dans chacune des spires. Selon la loi de Lorentz, après un demi-tour, le courant est inversé dans le circuit induit, ce qui inverse les forces et permet une rotation continue du rotor. Cette inversion du courant est effectuée par le collecteur en association avec les balais.

L'inversion du sens de rotation est obtenue par inversion des polarités de l'induit ou de l'inducteur. Pour faire croître la vitesse du moteur, il y a deux possibilités : augmenter la tension d'induit ou diminuer le flux d'excitation.

Si on alimente l'inducteur sous tension fixe, le flux est constant et on peut régler la vitesse du moteur par action sur la tension d'alimentation de l'induit. La vitesse est pratiquement proportionnelle à la tension d'induit. Le couple moteur augmente en fonction du courant dans l'induit.

Si on diminue le courant d'excitation (par la diminution de la tension appliquée à l'inducteur), alors que l'induit reste alimenté sous tension fixe, le moteur va passer en sur-vitesse. Si l'excitation est totalement coupée, le moteur risque alors de s'emballer. Dans la pratique, ce risque ne concerne que les moteurs à excitation séparée.

Le moteur à courant continu accepte généralement les fortes surcharges de courte durée. Il est utilisé principalement pour des applications de traction électrique et pour des applications industrielles telles que la robotique.

DÉMARRAGE , RÉVERSIBILITÉ ET CONTRAINTES

Autrefois, le démarrage du moteur était réalisé grâce à un rhéostat de démarrage en série avec l'induit qui limitait le courant mais cette solution était peu économique (pertes par effet Joule).

Aujourd'hui, le démarrage est plutôt effectué grâce à des circuits électroniques qui réduisent la tension d'induit et qui permettent une mise en vitesse progressive tout en gérant la surintensité de démarrage. Les propriétés du moteur à courant continu sont adaptées à la commande par variateurs de vitesse ou par démarreurs progressifs.

Le moteur à courant continu est généralement réversible avec quelques conditions de constructions. Les moteurs à excitation série peuvent fonctionner en mode générateur. Les moteurs à excitation parallèle doivent posséder des bobinages conçus en conséquence. Dans ce cas, le rotor devient l'inducteur et le stator devient l'induit.

Le principal problème du moteur à courant continu est lié aux balais, ou « charbons » qui assurent la liaison avec le collecteur rotatif. Plus la vitesse de rotation est élevée, plus les contraintes mécaniques appliquées aux balais sont fortes (pression de contact, friction), réduisant ainsi leur durée de vie et la qualité des contacts électriques. Un contact électrique imparfait génère des parasites dans le circuit d'alimentation et des arcs électriques qui endommagent le collecteur.

LES TYPES DE MOTEURS

LES DIFFÉRENTS TYPES

■ Moteur à excitation série

Le circuit inducteur est connecté en série avec le circuit induit et le même courant circule dans les deux circuits. Le couple de démarrage est important car le courant les parcourant crée un grand flux magnétique.

La charge appliquée au moteur définit le courant induit. Si le couple résistant augmente, le courant induit augmente, mais la vitesse diminue. Inversement, pour une faible charge, le courant est moindre. Plus le flux magnétique est faible, plus la vitesse de rotation augmente. En fonctionnant à vide, ce type de moteur risque la survitesse et l'endommagement.

Son courant varie moins avec les à-coups de couple résistant qu'un moteur à excitation parallèle (définition ci-dessous). Il est fréquemment utilisé dans le domaine de la traction.

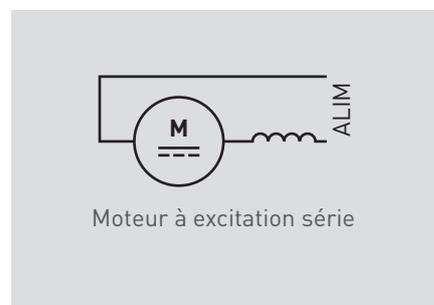
■ Moteur à excitation parallèle (dit aussi « shunt »)

Les circuits inducteur et induit sont alimentés par une même source de tension. Le bobinage inducteur est câblé en parallèle avec l'induit. La tension aux bornes du rotor est donc la même que celle aux bornes du stator. La vitesse obtenue est très stable suivant la valeur du couple résistant. Il présente peu de risques d'emballement, indépendamment du couple qui lui est opposé.

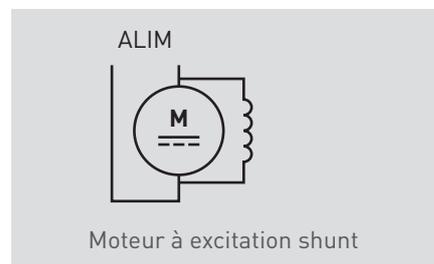
Si le couple résistant subit de brusques variations, le courant subit des variations dans les mêmes proportions ce qui doit être considéré au niveau du circuit d'alimentation (sections de lignes, choix des protections).

■ Moteur à excitation séparée

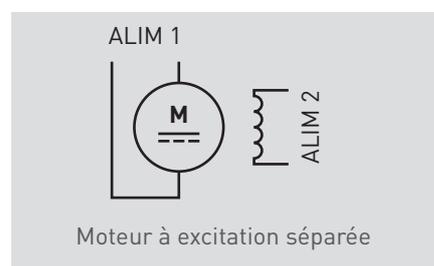
Il requiert deux sources de tension, ce qui rend son usage compliqué. Son comportement est semblable à celui du moteur à excitation parallèle. Il est utilisé pour des machines de forte puissance. La vitesse de rotation est proportionnelle à la tension d'alimentation de l'induit, aussi le réglage de la vitesse est indépendant de la charge. La charge appliquée au moteur définit le courant d'induit. L'absence de flux inducteur conduit à l'emballement du moteur.



Moteur à excitation série



Moteur à excitation shunt



Moteur à excitation séparée

LES DIFFÉRENTS TYPES (SUITE)

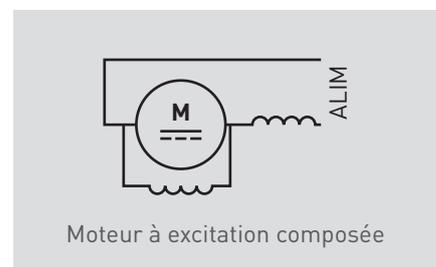
■ Moteur à excitation composée (dit aussi « compound »)

Il comporte deux enroulements inducteurs dont l'un est placé en série avec l'induit et l'autre en parallèle.

Il combine les avantages du moteur série (le couple élevé à basse vitesse) et ceux du moteur shunt (pas de risque d'emballement). Il est à flux additif si les deux enroulements ajoutent leurs effets magnétisants.

Il est à flux soustractif si les deux enroulements soustraient leurs effets magnétisants (ce type est employé car il fonctionne avant tout pour les fortes charges).

Généralement, il est utilisé quand le couple résistant présente de grosses variations.



■ Moteur sans balai (dit aussi « brushless »)

Ce type de moteur ne comporte pas de collecteur tournant au niveau du rotor, d'où son appellation « moteur sans balai ».

Par rapport au moteur à courant continu à balais, il résout les problèmes de commutation au niveau du collecteur et les risques de défrettage. De plus, il offre un meilleur refroidissement puisque les pertes par effet Joule situées au stator sont plus faciles à dissiper. Son rendement est également supérieur, en raison d'une inertie moindre et d'une absence de frottements dus aux balais.

Il peut fonctionner jusqu'à des vitesses très élevées (50000 tours par minute).

Il fonctionne grâce à un système électronique de commande qui assure la commutation du courant dans les enroulements statoriques. Il est équipé d'un capteur électronique de position qui indique le moment auquel inverser les polarités.

Ce capteur est intégré au système électronique sur les moteurs de faible puissance, ce qui leur permet de fonctionner en autonomie, avec une variation de la vitesse liée à celle de la tension d'alimentation.

Pour les puissances supérieures, on utilise un convertisseur électronique de type onduleur afin de faire varier la vitesse et de réguler le couple.

Ces moteurs sont largement répandus en industrie, essentiellement dans les applications liées à la robotique. Ils sont également utilisés pour la traction (véhicules électriques). Les plus petits d'entre eux sont utilisés en informatique (disques durs) ou encore en aéromodélisme.

DÉMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES

Les différents types de démarrage

Aujourd'hui, huit moteurs sur dix sont utilisés à vitesse fixe. Cela s'explique par le fait que la majorité des moteurs vendus sont de faible puissance et qu'ils sont utilisés pour des applications sans besoin de variation du couple, de vitesse ou d'accélération et dont le démarrage est sans incidence sur l'équipement qu'ils entraînent.

LE DÉMARRAGE DIRECT SOUS TENSION PLEINE

Les applications à vitesse fixe par démarrage direct présentent de nombreux avantages dont un rendement supérieur à celui effectué par variateur de vitesse, et ce, quelque soit le niveau de charge du moteur, avec un niveau de pertes énergétiques négligeable.

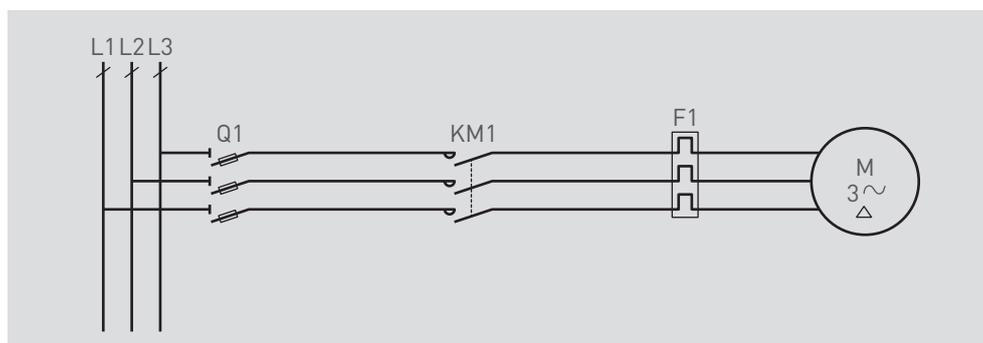
C'est le mode de démarrage le plus simple : Le moteur démarre sur ses caractéristiques «naturelles». Il est connecté au réseau grâce au contacteur KM1. Au démarrage, le moteur se comporte comme un transformateur dont le secondaire (le rotor) est en situation en court-circuit, d'où la pointe de courant au démarrage.

Ce type de démarrage est réservé aux moteurs dont la puissance est limitée au regard de la puissance délivrée par le réseau, ne nécessitant pas une mise en vitesse progressive. Le couple est maximal mais l'appel de courant est important (5 à 8 fois le courant nominal). Dans le cas d'une utilisation à vitesse fixe, la puissance du moteur doit être choisie de manière à supporter la charge et ses éventuelles variations.

Malgré les avantages qu'il présente, le démarrage direct ne convient pas dans un certain nombre de cas quand :

- la puissance du moteur est élevée par rapport à la disponibilité du réseau ; il faut alors limiter les perturbations liées à l'appel de courant,
- la machine entraînée nécessite un démarrage progressif,
- le couple de démarrage peut être réduit sans incidence sur le fonctionnement de la machine ou de la charge entraînée,
- le réseau ne peut supporter la chute de tension liée au démarrage direct.

Néanmoins, il existe des solutions simples à mettre en œuvre pour répondre au besoin de démarrage progressif, notamment sous tension réduite.



LE DÉMARRAGE DIRECT SOUS TENSION RÉDUITE

Le démarrage par couplage étoile-triangle est la solution la plus répandue en raison de son coût réduit et de sa mise en œuvre aisée. Ce mode de démarrage est généralement appliqué aux moteurs d'une puissance inférieure à 7.5 kW ou démarrant sans charge. Il y a toutefois quelques contraintes à prendre en considération, telles que la réduction notable du couple de démarrage et la pointe de courant transitoire lors du passage du couplage étoile au couplage triangle.

De plus, il faut sélectionner un moteur dont les extrémités des enroulements unitaires sont ramenées dans la boîte à bornes (il y a ainsi 6 bornes dans la boîte de raccordement), et dont le couplage triangle correspond à la tension du réseau. Par exemple, dans un réseau triphasé 400V, il convient de sélectionner un moteur dont la tension nominale est de 690V en couplage étoile, donc 400V (c'est-à-dire 690 V/ $\sqrt{3}$) en couplage triangle.

LE DÉMARRAGE DIRECT SOUS TENSION RÉDUITE (SUITE)

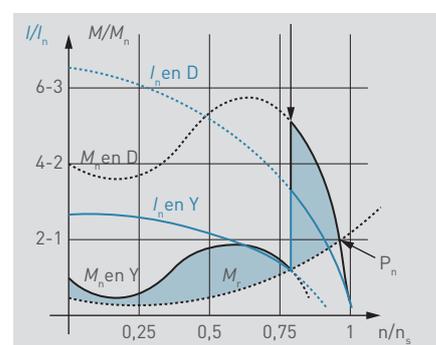
Explication : le courant est divisé une première fois par $\sqrt{3}$ (lié au changement de couplage) et une deuxième fois par $\sqrt{3}$ (lié à la réduction relative de la tension d'alimentation de 690V à 400V), soit $\sqrt{3}$ que multiplie $\sqrt{3}$.

La pointe de courant de démarrage (I_d) est divisée par 3, soit :

- $I_d = 2.3 I_n$ si l'on considère un courant d'appel de $7I_n$.

Le couple de démarrage (C_d) qui est proportionnel au carré de la tension d'alimentation, est également divisé par 3 :

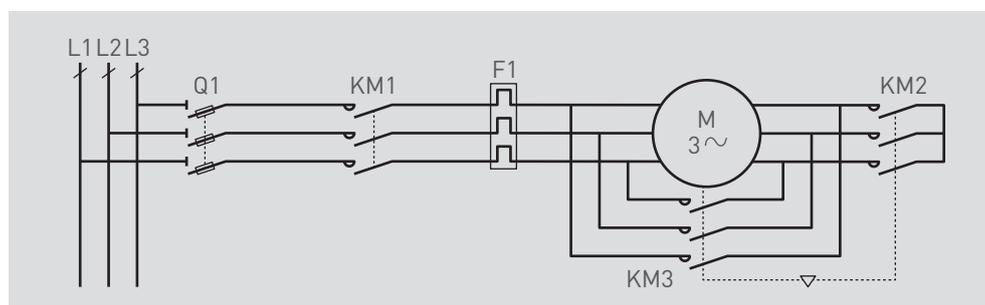
- $C_d = 0.33$ dans cet exemple (habituellement observé 0.2 à 0.5 C_n)



Séquence : lorsque la vitesse de rotation du moteur se stabilise (équilibre entre couple moteur et couple résistant), à une vitesse d'environ 85 % de la vitesse nominale, les enroulements sont alors couplés en triangle et le moteur rejoint ses caractéristiques de fonctionnement naturelles.

1. Le moteur est connecté au réseau grâce à KM1. Ses enroulements sont couplés en étoile par KM2.
2. A la fin de la période de démarrage, KM2 s'ouvre,
3. KM3 se ferme avec un léger décalage.

Cette séquence de commutation est commandée par une temporisation réglée sur la durée de démarrage étoile. Afin d'empêcher la fermeture du contacteur triangle lorsque le contacteur étoile est encore fermé (et éviter un court-circuit entre phases), il convient de réaliser un inter-verrouillage électrique des circuits de commande via les contacts miroirs (NF) des contacteurs en complément de l'utilisation d'un dispositif d'inter-verrouillage mécanique. Durant le passage du couplage étoile au couplage triangle, le courant est interrompu brièvement et un pic transitoire est généré à la fermeture du contacteur triangle.



Il existe une méthode consistant à insérer une résistance avant l'ouverture du contacteur étoile qui évite l'apparition de phénomènes transitoires liés à la brusque coupure de courant. Ce procédé reste néanmoins plus complexe et coûteux à mettre en œuvre.

DÉMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES

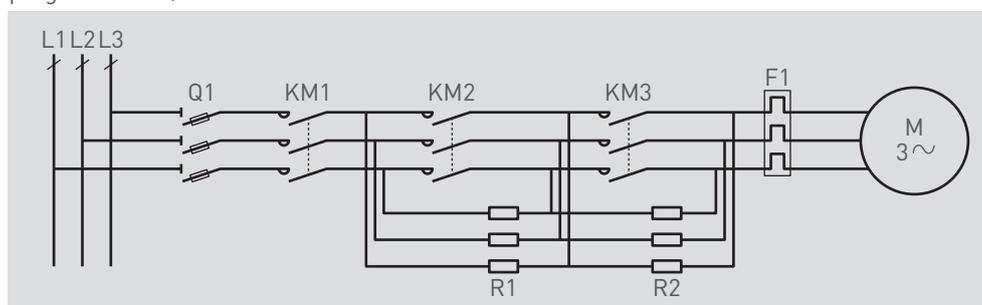
LE DÉMARRAGE DIRECT SOUS TENSION RÉDUITE (SUITE)

■ Démarrage par élimination de résistances statoriques

Ce mode de démarrage s'applique aux moteurs asynchrones triphasés à cage d'écureuil pour applications telles que les machines à inertie qui ne démarrent pas avec leur charge maximale (ventilateurs centrifuges, pompes, scies, etc.). Son principal intérêt est de limiter le courant de démarrage.

Il s'effectue à minima en deux temps. Les enroulements du stator sont d'abord alimentés sous tension réduite à travers des résistances ; ils sont ensuite alimentés sous leur tension nominale par l'élimination des résistances qui peuvent être court-circuitées en une ou plusieurs étapes. Selon le nombre d'étapes, il est possible d'ajuster le courant et le couple de démarrage. L'élimination des résistances permet de maintenir une alimentation ininterrompue du moteur lors de la phase de démarrage. Ce mode est caractérisé par un couple de démarrage ajustable (de 0,5 à 0,8 fois le couple nominal) et un courant également ajustable selon le nombre d'étapes.

Le temps de démarrage est relativement long (jusqu'à 10 secondes). Les séquences sont principalement gérées de façon semi-automatique (par l'emploi de boutons poussoirs et de temporisations), ou de façon automatique (par le biais de capteurs et d'un automate programmable).



■ Le démarrage par auto-transformateur

Ce mode de démarrage est généralement utilisé pour des moteurs de puissance supérieure à 100 kW dont l'usage ne nécessite pas un couple de démarrage trop élevé. Il est cependant coûteux en raison des caractéristiques techniques de l'autotransformateur, mais en contrepartie, il permet de profiter des avantages des moteurs à cage d'écureuil.

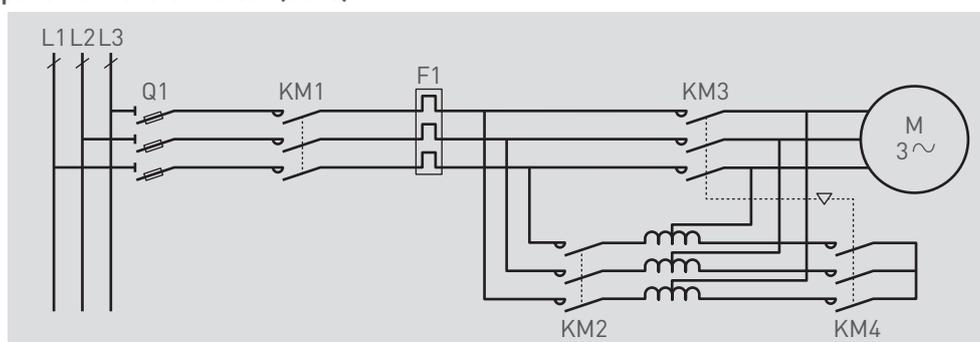
Le démarrage par auto-transformateur permet de réduire le courant d'appel. Le moteur est alimenté sous tension réduite par un auto-transformateur qui est mis hors circuit quand le démarrage est terminé.

Pour ce mode de démarrage, seules les bornes des trois conducteurs d'alimentation nécessitent d'être accessibles. Le démarrage s'effectue en trois étapes :

- 1 - L'autotransformateur est d'abord connecté au réseau grâce au contacteur KM2. Pour alimenter le moteur sous tension réduite, son secondaire est préalablement couplé en étoile, grâce au contacteur KM4. Pour pouvoir adapter la caractéristique de démarrage du moteur au besoin en couple, les auto-transformateurs peuvent comporter plusieurs sorties (par exemple 80%, 65% et 50%).
- 2 - Lorsque le moteur a atteint une vitesse proche de sa vitesse nominale, le contacteur de couplage « tension réduite » KM4 s'ouvre.
- 3 - Le moteur est alors alimenté sous tension pleine, et KM2 peut s'ouvrir afin de déconnecter le transformateur du réseau.
- 4 - A l'ouverture du connecteur KM2, le contacteur KM3 se ferme, le moteur restant alimenté par le réseau sous tension pleine.

LE DÉMARRAGE DIRECT SOUS TENSION RÉDUITE (SUITE)

■ Le démarrage par auto-transformateur (suite)



En fonction de chaque prise et rapport de courant de démarrage, le courant de commutation varie de 1 à 5 x I_n . Le couple délivré varie proportionnellement au courant de démarrage.

DÉMARRAGE PAR ÉLIMINATION DES RÉSISTANCES ROTORIQUES

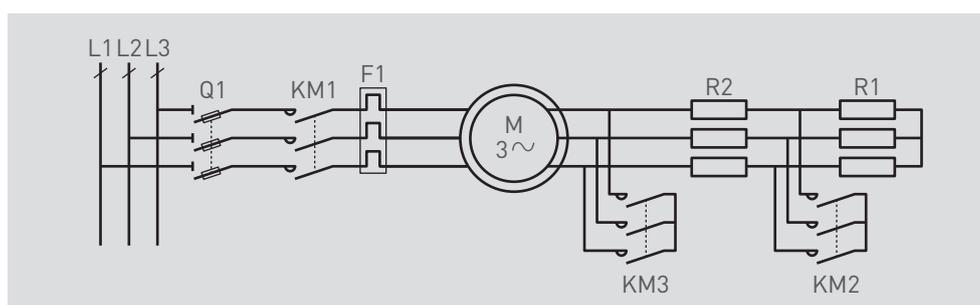
Ce mode de démarrage permet de profiter des avantages du moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné. Il est couramment utilisé pour les applications telles que les machines à forte inertie ou qui démarrent en charge nécessitant un couple élevé au démarrage (par exemple, équipements de manutention, pompes sous pression, convoyeur).

Il consiste en l'élimination progressive de résistances insérées dans le circuit rotorique qui est couplé en étoile. Les enroulements du circuit statorique sont directement alimentés par le réseau sous leur tension nominale, selon le mode de couplage étoile ou triangle.

Le démarrage s'effectue en plusieurs temps : on insère d'abord des résistances en série dans le circuit du rotor, ce qui a pour effet de limiter le courant absorbé au stator. La résistance du circuit rotorique est ensuite diminuée jusqu'à court-circuit du rotor, sans interruption de l'alimentation électrique.

Ce mode est caractérisé par un courant de démarrage réduit (limité à environ deux fois le courant nominal) et un couple de démarrage qui reste néanmoins élevé (de 1,5 à 2 fois le couple nominal).

Le temps de démarrage est relativement long (jusqu'à 10 secondes). Les séquences sont principalement gérées de façon semi-automatique (par l'emploi de boutons poussoirs et de temporisations), ou de façon automatique (par le biais d'un automate programmable).



DÉMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES

LES MOTEURS DAHLANDER

Les moteurs multi-vitesses trouvent leur application notamment dans le domaine de la ventilation, pour changer de puissance de ventilation (soufflage ou extraction). Il s'agit du domaine d'application le plus important. Il permet aussi de réaliser un démarrage en deux temps (petite vitesse puis grande vitesse), qui limite le courant d'appel, à l'instar du démarrage étoile-triangle.

Le moteur Dahlander dispose de deux vitesses de rotation par couplage d'enroulements (ou encore couplage de pôles). Il possède deux bobinages distincts par phase que l'on peut coupler en parallèle (deux pôles) ou en série (quatre pôles). Le rapport entre petite vitesse et grande vitesse est de 1 pour 2. En général 1500 tours par minute / 3000 tours par minute.

La vitesse de synchronisme varie donc dans un rapport 2 et la grande vitesse correspond au couplage parallèle.

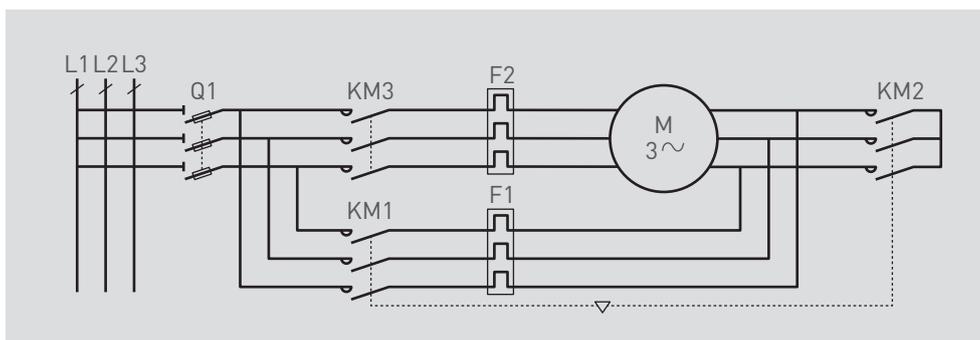
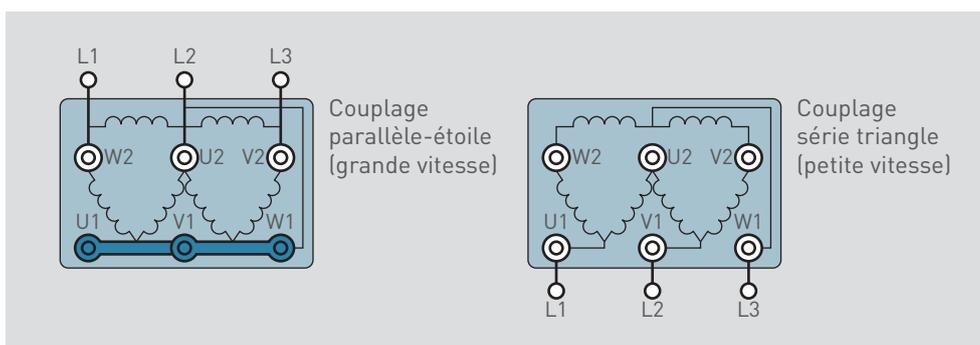
On admet que :

En associant les deux bobinages en parallèle, leurs actions se superposent et ils se comportent comme un seul enroulement. Les enroulements sont alimentés à $U / \sqrt{3}$ et le moteur tourne à sa vitesse maximale.

Couplage de la boîte à bornes – Grande vitesse Les bornes « petite vitesse » sont mises en court circuit et les bornes « grande vitesse » sont chacune reliées à une phase. Ce couplage est aussi nommé « parallèle-étoile » car les bobinages sont reliés en parallèle deux à deux.

En associant deux bobinages en série, les enroulements sont alimentés à $U/2$ au lieu de $U / \sqrt{3}$, donc sous alimentés. On double le nombre de pôles et la vitesse du moteur est divisée par deux.

Couplage de la boîte à bornes – Petite vitesse Les bornes « grande vitesse » ne sont pas connectées et les bornes « petite vitesse » sont chacune reliées à une phase. Ce couplage est aussi appelé « série-triangle » : en effet, les bobinages sont reliés en série.

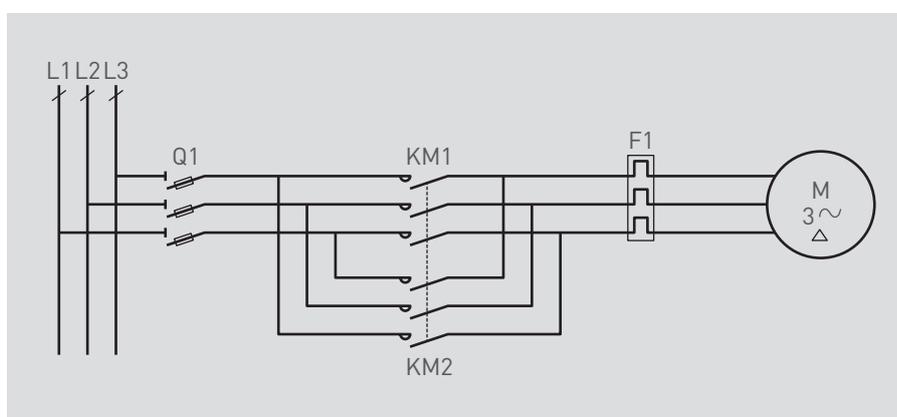


Inversion du sens de marche

Pour inverser le sens de rotation du moteur, deux phases du circuit de puissance sont permutées, la troisième restant inchangée.

Cela a pour effet de changer le sens de rotation du champ tournant et donc le sens de rotation du rotor. Cette permutation est normalement effectuée à vitesse nulle.

Un verrouillage mécanique est nécessaire pour éviter un court-circuit entre deux phases dans l'éventualité où KM1 et KM2 se trouveraient simultanément en position fermée, même dans un laps de temps très bref.



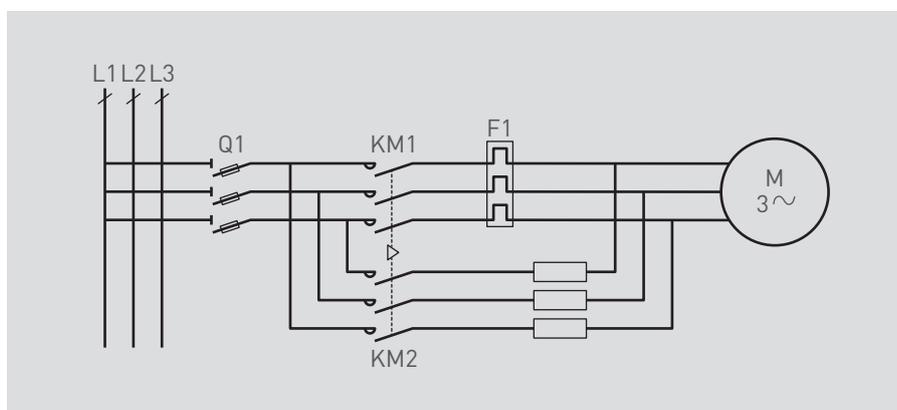
Arrêt des moteurs

Dans la plupart des applications, l'arrêt du moteur est obtenu par décélération naturelle, avec un temps lié à l'inertie de la machine entraînée. Pour maîtriser ce temps, on peut avoir recours à un freinage électrique, simple et économique à mettre en œuvre, par opposition au freinage mécanique, plus coûteux. Le freinage électrique offre en outre une régularité dans la décélération du moteur.

FREINAGE PAR CONTRE-COURANT

Ce mode de freinage est obtenu par inversion de deux phases. Le moteur développe un couple de freinage dans les quadrants Q2 et Q4 (voir P. 13). Au moment de l'inversion, la valeur du glissement peut pratiquement doubler et elle se réduit ensuite sous l'effet du couple inverse par rapport au sens de rotation. Cela se traduit par une augmentation du courant absorbé par le moteur de l'ordre de $7 \times I_n$. Pour limiter ce courant, une solution consiste à placer des résistances en série avec le stator.

Afin d'empêcher que le moteur ne reparte dans l'autre sens, un capteur tachymétrique déconnecte le moteur du réseau au moment du passage à la vitesse nulle (glissement=1).



DÉMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES

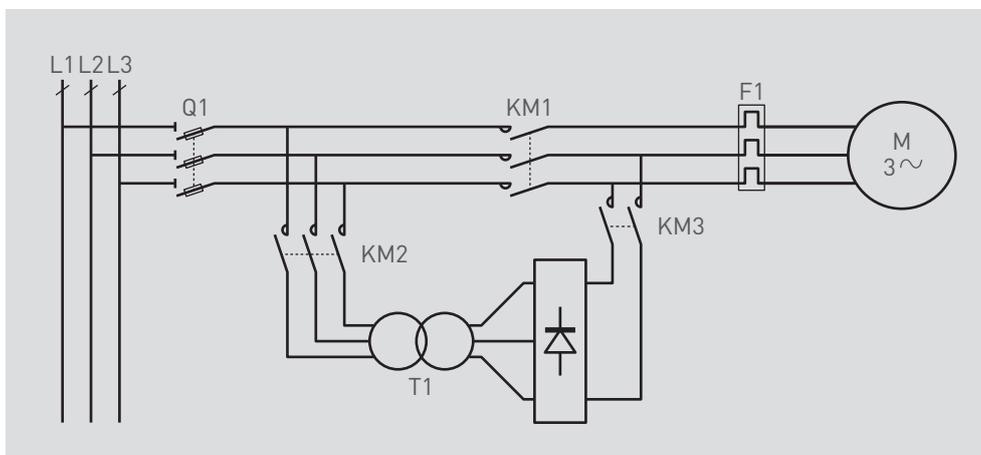
FREINAGE PAR INJECTION DE COURANT CONTINU

Ce mode de freinage, principalement utilisé pour les moteurs à rotor bobiné, est obtenu en injectant sur une période prédéterminée du courant continu (en général inférieur à 20V) dans un ou plusieurs enroulements du stator après l'interruption de l'alimentation triphasée.

Cela permet de générer un champ magnétique fixe qui va freiner le rotor. Le fait que le rotor continue sa rotation crée des courants rotoriques et progressivement, l'énergie cinétique se transforme en pertes par effet Joule, jusqu'à l'arrêt du moteur. Le courant de freinage est d'environ $1.3 \times I_n$.

Ce mode de freinage ne requiert pas l'emploi d'un capteur tachymétrique puisque après l'arrêt du rotor, le champ magnétique le maintient en position fixe.

Ainsi, le moteur ne risque pas de repartir dans l'autre sens. Par la suite, l'alimentation en courant continu sera interrompue afin de protéger le moteur d'un échauffement prolongé.



PROTECTION DES MOTEURS

Avantages MPX³ – RTX³

En dépit d'une construction robuste, un moteur asynchrone peut rencontrer des défaillances d'origine électrique, généralement liée à l'usure ou à un mauvais entretien, mais la cause la plus fréquente est d'origine électrique. Elle peut être externe (surtensions, déséquilibre de phases,...) ou interne : les éléments les plus vulnérables du moteur sont les enroulements de son rotor et de son stator. Ils sont composés de bobinage de fils de cuivre recouverts d'un vernis isolant et ils doivent être protégés contre un échauffement excessif sous peine de risque de court-circuit qui conduirait à la destruction du moteur. Pour cette raison, les moteurs sont généralement pourvus d'un ventilateur fixé sur l'arbre, qui assure leur refroidissement en fonctionnement normal.

Les causes de l'échauffement du moteur sont principalement :

La surcharge : à vitesse fixe et régime nominal, un effort supplémentaire demandé au moteur se traduit par une augmentation du courant absorbé et de la dissipation thermique dans ses enroulements. Même si le moteur est conçu de façon à supporter les surcharges élevées, celles-ci doivent rester temporaires. Il est généralement admis qu'une surcharge permanente de 10% d'un moteur divise sa durée de vie par deux.

Le temps de démarrage trop long ou le blocage durable de l'arbre de transmission : lorsque le moteur est en phase de démarrage long ou en situation de calage, le rotor est soumis à des contraintes thermiques plus fortes liées à l'accroissement du courant appelé, avec un risque important de détérioration des bobinages.

La perte d'une phase d'alimentation : en général d'origine accidentelle, (ou provoquée par la fusion d'un fusible), se traduit par un accroissement du courant, de l'ordre de 150 à 170%, dans les deux enroulements qui continuent d'être alimentés. Ses conséquences sont particulièrement néfastes quand le moteur fonctionne à pleine charge et elles sont destructives en phase de démarrage. Le même phénomène se produit en cas de fort déséquilibre entre les phases. Il convient de sélectionner un équipement assurant la protection contre ce risque, généralement qualifié de « sensible aux pertes de phase ». Voir le paragraphe concernant les relais de protection thermique et celui des disjoncteurs moteurs (voir P. 36).

L'intérêt du dispositif de protection thermique du moteur réside dans sa capacité à agir dans un laps de temps très court. La norme IEC60947-4-1 concernant les contacteurs et les démarreurs moteurs prévoit ainsi plusieurs catégories de classes de déclenchement. La plus répandue est la classe 10.

CLASSE DE DÉCLENCHEMENT	TEMPS DE DÉCLENCHEMENT (Tp) À PARTIR DE L'ÉTAT FROID				MOTEUR
	1.05Ir	1.2Ir	1.5Ir	7.2Ir	
10A	Tp > 2h	Tp < 2h	Tp < 2mn	2s < Tp < 10s	Démarrage rapide
10	Tp > 2h	Tp < 2h	Tp < 4mn	4s < Tp < 10s	Démarrage rapide
20	Tp > 2h	Tp < 2h	Tp < 8mn	6s < Tp < 10s	Démarrage lent (forte inertie)
30	Tp > 2h	Tp < 2h	Tp < 12mn	9s < Tp < 10s	Démarrage lent (forte inertie)

Relais thermique RTX³ = classe 10A, type différentiel (sensibilité accrue aux déséquilibres ou aux pertes de phase)

Disjoncteur-moteur MPX³ = classe 10, type différentiel (sensibilité accrue aux déséquilibres ou aux pertes de phase)

PROTECTION DES MOTEURS

Les disjoncteurs moteurs MPX³ et relais thermique RTX³ assurent tous deux la protection des moteurs, mais le choix d'une solution par rapport à l'autre dépend de plusieurs critères fonctionnels rappelés dans le tableau ci-dessous :

	RELAIS THERMIQUE RTX ³	DISJONCTEUR-MOTEUR MPX ³
Protection thermique du moteur	Oui	Oui
Protection de la ligne	Non	Oui
Sectionnement	Non	Oui
Etablissement ou interruption du courant	Non	Oui
Réarmement automatique	Sélecteur de mode : auto	Oui, sur déclenchement thermique
Réarmement manuel	Sélecteur de mode : manuel	Oui, sur déclenchement magnétique
Signalisation de l'état	Oui, par contacts auxiliaires intégrés	Oui, par contacts auxiliaires additionnels
Montage	En aval du contacteur Raccordement direct au contacteur Montage séparé possible avec embase de fixation	En amont du contacteur Raccordement au contacteur avec le connecteur dédié Montage séparé avec connexion filaire

Les disjoncteurs moteurs MPX³ présentent un avantage en termes de compacité, à fonctions équivalentes. L'emploi des relais thermiques RTX³ implique l'utilisation de dispositifs de protection de ligne en amont (disjoncteurs ou fusibles) et d'un dispositif de sectionnement pour répondre pleinement à la définition de départ moteur.

■ Critères à prendre en compte pour la définition des équipements et des protections des moteurs

	CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES OU ENVIRONNEMENTALES	CRITÈRES	CARACTÉRISTIQUES DU DISJONCTEUR-MOTEUR
0	Caractéristiques du réseau		
0.1	Tension	220V, 230V, 240V, 380V, 400V, 415V, 690V, etc.	Tension assignée d'emploi $U_e >$ tension de réseau
0.2	Fréquence	50Hz, 60Hz, 400Hz, etc.	Fréquence assignée
1	Type de charge		
1.1	Nature du moteur	Moteur triphasé asynchrone Moteur triphasé synchrone Moteur monophasé Moteur à courant continu Etc.	Catégorie d'emploi Courant d'appel Puissance nominale (kW) (voir P. 30-31)
1.2	Caractéristiques du moteur	Nombre de conducteurs Tension et fréquence nominales Puissance nominale $\cos \varphi$ Etc.	Nombre de pôles Courant d'emploi

■ Tableau G.1 – Puissances assignées d'emploi et courants assignés d'emploi des moteurs

PUISSANCE ASSIGNÉE D'EMPLOI		VALEURS GUIDES DES COURANTS ASSIGNÉS D'EMPLOI À										
kW ^a	hp ^b	110-120 V A	200 V A	208 V A	230 V A	220-240 V A	380-415 V A	400 V A	440-480 V A	500 V A	550-600 V A	690 V A
0,06	-	-	-	-	0,35	-	-	0,20	-	0,16	-	0,12
0,09	-	-	-	-	0,52	-	-	0,30	-	0,24	-	0,17
0,12	-	-	-	-	0,70	-	-	0,44	-	0,32	-	0,23
0,18	-	-	-	-	1,0	-	-	0,60	-	0,48	-	0,35
0,25	-	-	-	-	1,5	-	-	0,85	-	0,68	-	0,49
0,37	-	-	-	-	1,9	-	-	1,10	-	0,88	-	0,64
-	1/2	4,4	2,5	2,4	-	2,2	1,3	-	1,1	-	0,9	-
0,55	-	-	-	-	2,6	-	-	1,5	-	1,2	-	0,87
-	3/4	6,4	3,7	3,5	-	3,2	1,8	-	1,6	-	1,3	-
-	1	8,4	4,8	4,6	-	4,2	2,3	-	2,1	-	1,7	-
0,75	-	-	-	-	3,3	-	-	1,9	-	1,5	-	1,1
1,1	-	-	-	-	4,7	-	-	2,7	-	2,2	-	1,6
-	1-1/2	12,0	6,9	6,6	-	6,0	3,3	-	3,0	-	2,4	-
-	2	13,6	7,8	7,5	-	6,8	4,3	-	3,4	-	2,7	-
1,5	-	-	-	-	6,3	-	-	3,6	-	2,9	-	2,1
2,2	-	-	-	-	8,5	-	-	4,9	-	3,9	-	2,8
-	3	19,2	11,0	10,6	-	9,6	6,1	-	4,8	-	3,9	-
3,0	-	-	-	-	11,3	-	-	6,5	-	5,2	-	3,8
4	-	-	-	-	15	-	-	8,5	-	6,8	-	4,9
-	5	30,4	17,5	16,7	-	15,2	9,7	-	7,6	-	6,1	-
5,5	-	-	-	-	20	-	-	11,5	-	9,2	-	6,7
-	7-1/2	44,0	25,3	24,2	-	22,0	14,0	-	11,0	-	9,0	-
-	10	56,0	32,2	30,8	-	28,0	18,0	-	14,0	-	11,0	-
7,5	-	-	-	-	27	-	-	15,5	-	12,4	-	8,9
11	-	-	-	-	38,0	-	-	22,0	-	17,6	-	12,8
-	15	84	48,3	46,2	-	42,0	27,0	-	21,0	-	17,0	-
-	20	108	62,1	59,4	-	54,0	34,0	-	27,0	-	22,0	-
15	-	-	-	-	54	-	-	29	-	23	-	17
18,5	-	-	-	-	61	-	-	35	-	28	-	21
-	25	136	78,2	74,8	-	68	44	-	34	-	27	-
22	-	-	-	-	72	-	-	41	-	33	-	24
-	30	160	92	88	-	80	51	-	40	-	32	-
-	40	208	120	114	-	104	66	-	52	-	41	-
30	-	-	-	-	96	-	-	55	-	44	-	32
37	-	-	-	-	115	-	-	66	-	53	-	39
-	50	260	150	143	-	130	83	-	65	-	52	-
-	60	-	177	169	-	154	103	-	77	-	62	-
45	-	-	-	-	140	-	-	80	-	64	-	47
55	-	-	-	-	169	-	-	97	-	78	-	57
-	75	-	221	211	-	192	128	-	96	-	77	-
-	100	-	285	273	-	248	165	-	124	-	99	-
75	-	-	-	-	230	-	-	132	-	106	-	77

PROTECTION DES MOTEURS

■ Tableau G.1 (suite)

PUISSANCE ASSIGNÉE D'EMPLOI		VALEURS GUIDES DES COURANTS ASSIGNÉS D'EMPLOI À										
kW ^a	hp ^b	110-120 V A	200 V A	208 V A	230 V A	220-240 V A	380-415 V A	400 V A	440-480 V A	500 V A	550-600 V A	690 V A
90	-	-	-	-	278	-	-	160	-	128	-	93
-	125	-	359	343	-	312	208	-	156	-	125	-
110	-	-	-	-	340	-	-	195	-	156	-	113
-	150	-	414	396	-	360	240	-	180	-	144	-
132	-	-	-	-	400	-	-	230	-	184	-	134
-	200	-	552	528	-	480	320	-	240	-	192	-
150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160	-	-	-	-	487	-	-	280	-	224	-	162
185	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	250	-	-	-	-	604	403	-	302	-	242	-
200	-	-	-	-	609	-	-	350	-	280	-	203
220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	300	-	-	-	-	722	482	-	361	-	289	-
250	-	-	-	-	748	-	-	430	-	344	-	250
280	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	350	-	-	-	-	828	560	-	414	-	336	-
-	400	-	-	-	-	954	636	-	477	-	382	-
300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
315	-	-	-	-	940	-	-	540	-	432	-	313
-	450	-	-	-	-	1030	-	-	515	-	412	-
335	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
355	-	-	-	-	1061	-	-	610	-	488	-	354
-	500	-	-	-	-	1180	786	-	590	-	472	-
375	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400	-	-	-	-	1200	-	-	690	-	552	-	400
425	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
475	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500	-	-	-	-	1478	-	-	850	-	680	-	493
530	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
560	-	-	-	-	1652	-	-	950	-	760	-	551
600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
630	-	-	-	-	1844	-	-	1060	-	848	-	615
670	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
710	-	-	-	-	2070	-	-	1190	-	952	-	690
750	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
800	-	-	-	-	2340	-	-	1346	-	1076	-	780
850	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
900	-	-	-	-	2640	-	-	1518	-	1214	-	880
950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1000	-	-	-	-	2910	-	-	1673	-	1339	-	970

^a Valeurs assignées préférées selon la CEI 60072-1 (série primaire).

^b Valeurs Horsepower (en cheval-vapeur) et de courant selon UL 508 (en 60 Hz).

■ Critères à prendre en compte pour la définition des équipements et des protections des moteurs (suite)

	CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES OU ENVIRONNEMENTALES	CRITÈRES	CARACTÉRISTIQUES DU DISJONCTEUR-MOTEUR
2	Méthode de démarrage		
2.1	Démarrage direct (sous tension pleine), ou sous tension réduite	Démarrage à vide ou en charge Courant d'appel	Courant de réglage (I _r)
2.2	Durée du démarrage	Démarrage rapide, démarrage long	Classe de déclenchement
3	Mode de fonctionnement		
3.1	Permanent, Occasionnel	Usage permanent (VMC), intermittent (extrusion, levage, pompage), occasionnel (désenfumage) Fréquence de commutation Nombre de commutations	Endurance électrique Endurance mécanique Nombre de cycles par heure
3.2	Défaut de surcharge	Déclenchement sur défaut thermique Déclenchement sur défaut thermique ou magnétique Déclenchement sur défaut magnétique seulement	Protection contre les surcharges Protection contre les surcharges et les courts-circuits Protection contre les courts-circuits uniquement
4	Installation		
4.1	Environnement	Température ambiante, Altitude, Vibrations et chocs, présence de substances corrosives et polluantes	Degré de pollution Déclassement selon l'altitude Déclassement selon la température Dissipation thermique
4.2	Défaut de court-circuit	Intensité du court-circuit	Pouvoir de coupure ultime (I _{cu}), Pouvoir de coupure en service (I _{cs}) Pouvoir de coupure sous 1 pôle (SLT = IT)
4.3	Équipement de protection associé	Disjoncteurs modulaire, Disjoncteur boîtier moulé, Interrupteur-Sectionneur	Coordination de type 1, de type 2 Courant thermique maximal admissible de courte durée (I _{cw}), et toutes caractéristiques électriques compatibles des produits associés (tension, courant, etc)
4.4	Équipement de commande associé	Bobine à manque de tension, bobine à émission de tension	Compatibilité avec les auxiliaires de commande (MPX ³)
4.5	Contacteur associé	Taille, calibre	Compatibilité dimensionnelle
4.6	Mode de réarmement	Automatique ou manuel Manuel	Relais thermique Relais thermique ou disjoncteur
5	Circuits auxiliaires		
	Contacts auxiliaires	Report d'état	Catégorie d'emploi AC14 AC15 DC13
6	Mise en œuvre		
	Raccordement	Type de bornes Sections de câbles	Capacités de raccordement des bornes
	Montage	Rail Platine	Entraxes de fixation, entraxe des rails

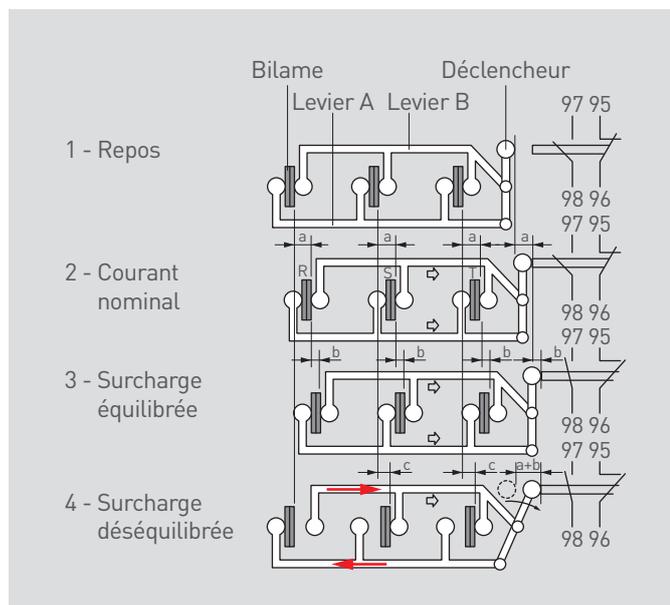
Retrouvez ces caractéristiques dans nos fiches technique.

Les relais thermique RTX³

Les relais thermiques existent en version "standard" pour protéger les moteurs du suréchauffement et en version "différentiel" avec une sensibilité accrue aux déséquilibres de phases qui sont la principale cause d'endommagement des moteurs. Attention, la notion de relais thermique différentiel ne doit pas être confondue avec la désignation des protections différentielles à courant résiduel, utilisées pour la protection des biens et des personnes (interrupteurs différentiels ou disjoncteurs différentiels par exemple).

En cas de rupture d'une des phases ou de fort déséquilibre, le courant croît sur les phases restantes ; ce qui provoque un suréchauffement des enroulements. L'usage d'un relais thermique en version différentielle est recommandé car il détecte rapidement un déséquilibre entre les phases.

Le dispositif mécanique de la fonction différentielle est constitué d'un ensemble de trois bilames et de deux leviers indépendants agissant sur le déclencheur. Illustration ci-contre :



- 1) En l'absence de courant, les bilames et les leviers sont considérés en situation de repos.
- 2) Lorsqu'ils commencent à supporter un flux de courant et jusqu'à leur courant nominal, les bilames se courbent (cote « a »). Le courant étant considéré comme équivalent sur chacune des trois phases, les leviers A et B évoluent dans la même direction.
- 3) Au-dessus du seuil de courant nominal, les bilames se courbent au-delà de la cote « a » et font déclencher le relais. Il s'agit dans ce cas d'une surcharge équilibrée car les bilames évoluent tous dans les mêmes proportions.
- 4) En cas de rupture d'une phase, le bilame qui n'est soumis à aucun courant reste en position de repos alors que les deux autres voient leur courant multiplié par un coefficient allant de 150% à 170%. Les deux leviers évoluent alors en sens contraire. L'action des bilames est amplifiée, permettant ainsi de réduire significativement le temps d'intervention du relais.

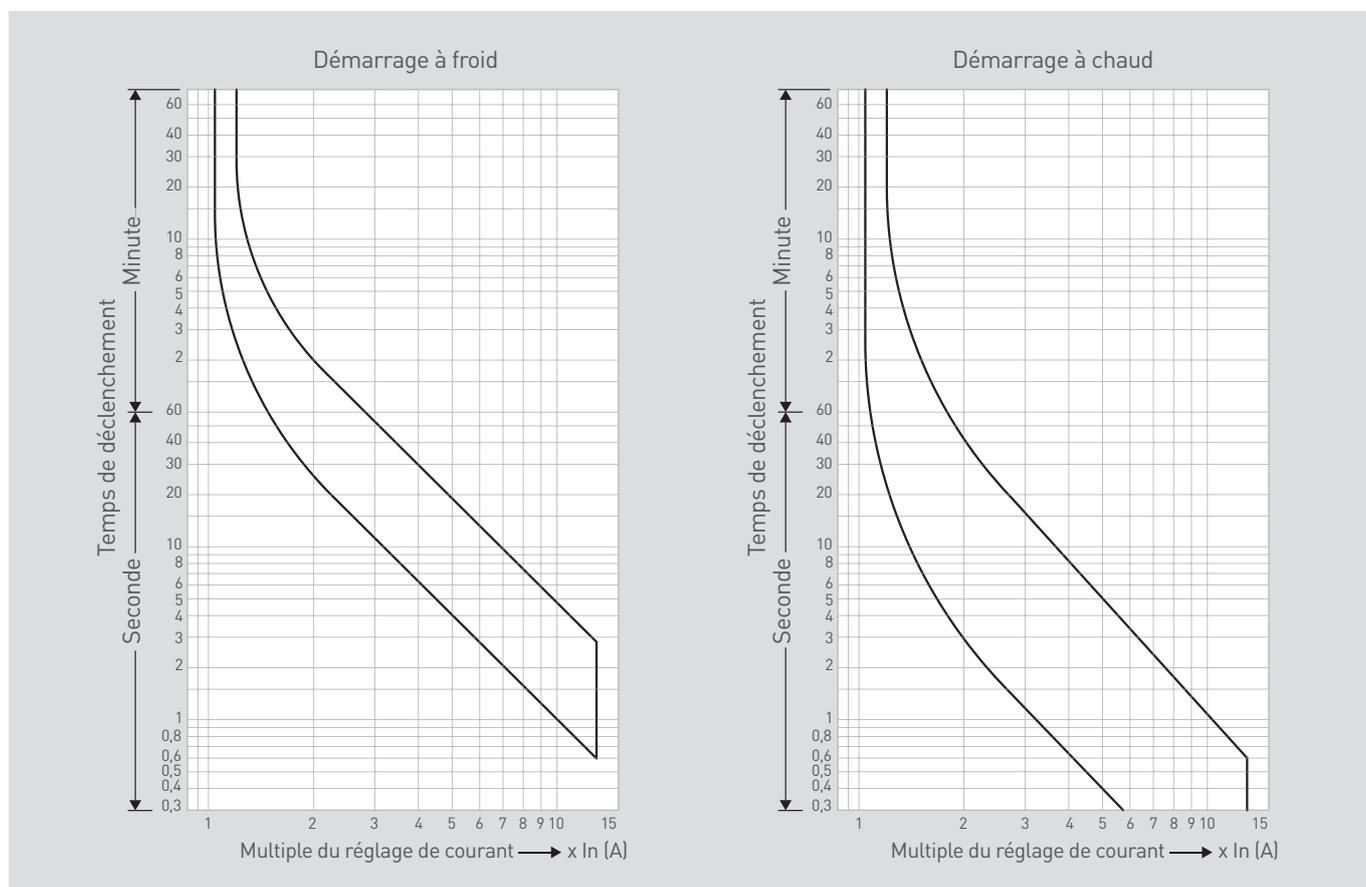
i Les relais thermiques RTX³ et disjoncteurs moteurs MPX³ sont compensés en température afin d'éviter un déclenchement intempestif dû aux variations de la température ambiante. Entre -5°C et +40°C, la calibration des relais thermiques et disjoncteurs moteurs est automatique. En dehors de cette plage, une adaptation du réglage doit être effectuée (voir notice).

■ Comprendre les courbes démarrage à froid et de démarrage à chaud

La courbe de déclenchement thermique (en Ampères) suit une tendance inversement proportionnelle à la durée, exprimée en secondes et en minutes. La zone de déclenchement est définie par un intervalle limité par les valeurs maxi et mini de la norme IEC 60947-4-1. Afin d'éviter des déclenchements intempestifs, il convient de sélectionner une protection thermique dont la courbe ne se superpose pas avec les caractéristiques de démarrage du moteur.

L'état froid caractérise les bilames quand aucun courant ne leur est appliqué. Ils sont dans leur position initiale. Après un certain temps de fonctionnement, les bilames sous l'effet de la contrainte thermique, se courbent plus ou moins selon la valeur de courant.

On parle alors « d'état chaud ». En pratique, cela signifie que les seuils de déclenchement sont abaissés (effet mémoire). Autrement dit, le relais est plus sensible à une nouvelle élévation de courant consécutive d'une surcharge, d'un calage ou d'une perte de phase. Cela permet de renforcer la protection du moteur dont la température des enroulements s'est élevée et qui est donc plus sensible à une nouvelle surcharge.



PROTECTION DES MOTEURS

Les disjoncteurs-moteurs MPX³

Le disjoncteur-moteur est un disjoncteur magnétothermique spécifique à la protection des moteurs. Il assure la protection contre les courts-circuits (fonction magnétique) et les surcharges (fonction thermique). Il est conforme aux normes produits IEC 60947-2 et IEC 60947-4-1.

A l'instar du relais de protection thermique RTX³, la sensibilité thermique du disjoncteur-moteur doit être réglé au plus près du courant nominal du moteur. Son fonctionnement est identique ; ses éléments de protection sont également constitués de bilames qui se dilatent selon l'intensité du courant qui les parcourt. Il est compensé en température, ce qui garantit un fonctionnement optimal dans une large plage de température.

Le seuil de déclenchement magnétique est quant à lui fixe ; il vaut 13 fois le courant d'emploi du disjoncteur-moteur.

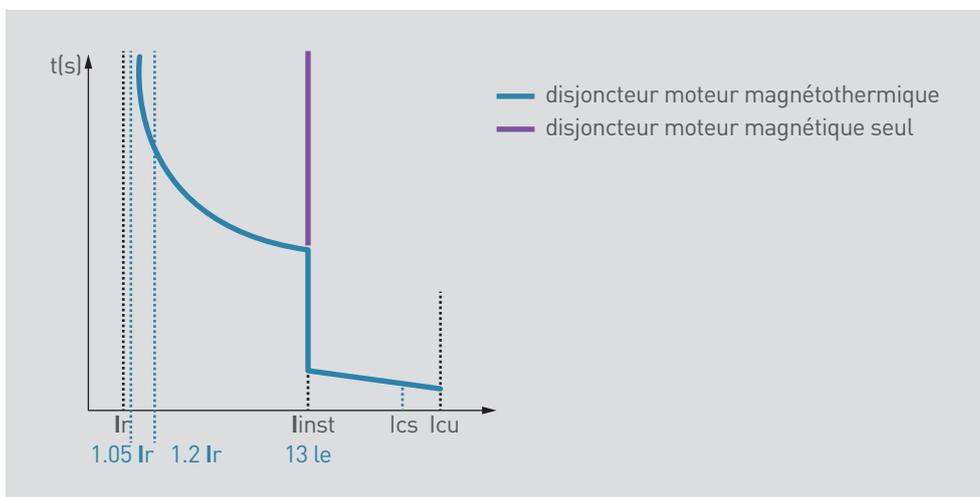


Le disjoncteur moteur peut être de type « magnétique seul », c'est-à-dire sans élément de protection thermique. Dans ce cas, il ne protège qu'en cas de court-circuit. Il est souvent utilisé pour les applications de désenfumage, pour lesquelles le moteur doit continuer à fonctionner y compris en cas de défaut lié à une surcharge. Pour certains modes de démarrage utilisant des contacteurs, la protection thermique étant assurée par un relais thermique, un disjoncteur de type «magnétique seul» est suffisant.

Le disjoncteur-moteur est conçu de façon à satisfaire aux exigences de coordination de type 2 (selon la norme IEC60947-4-1), qui sont les plus rigoureuses au niveau des tests effectués. Il est caractérisé par un pouvoir de coupure ultime (I_{cu}) et par un pouvoir de coupure en service (I_{cs}) qui garantissent la continuité de fonctionnement après un court-circuit.

Le disjoncteur-moteur satisfait également à la définition de « départ moteur », en assurant la double fonction d'interruption et de sectionnement ; cette dernière étant notamment liée à une distance d'isolement suffisante entre les contacts fixes et les contacts mobiles.

La courbe-type de déclenchement du disjoncteur-moteur est représentée selon le schéma ci-dessous :



Le disjoncteur ne doit pas déclencher pour $I \leq$ ou $= 1.05 I_r$ (courant de réglage), conformément aux exigences de la norme IEC60947-4-1. Au delà de I_r , en cas de surcharge thermique, le disjoncteur déclenche dans un temps inversement proportionnel à l'intensité qui le parcourt.

Par exemple, il doit ouvrir en moins de 2 h quand $I = 1,2 I_r$, en moins de 4 mn quand $I = 1,5 I_r$ et en moins de 10 s quand $I = 7,2 I_r$. En cas de surintensité liée à un court-circuit, c'est le dispositif magnétique qui opère, dans un délai de quelques millisecondes, nommé déclenchement instantané.

Dans le cas du disjoncteur-moteur « magnétique seul », il n'y a pas de zone de déclenchement thermique mais uniquement la courbe verticale de déclenchement instantané.

Le report d'état du disjoncteur-moteur est assuré par l'emploi de contacts auxiliaires à montage latéral ou frontal. Plusieurs types existent selon la nature de l'information à reporter (état ouvert ou fermé, déclenché sur défaut magnétique).

Le disjoncteur-moteur peut être également équipé d'auxiliaires de commande à distance (à émission de tension ou manque de tension, disponibles de 24 V~ à 400 V~).



Définition coordination de Type 2 d'après IEC60947-4-1.

Le contacteur ou le démarreur moteur ne doit pas mettre en danger les biens et les personnes dans l'éventualité d'un court-circuit.

Le contacteur ou le démarreur moteur doit rester fonctionnel.

Aucun dommage au relais thermique ou à d'autres parties ne doit arriver, à l'exception de la soudure des contacts mais qui doivent pouvoir être facilement séparés sans déformation notable.

LA COMMANDE DES MOTEURS

Avantages CTX³

Les moteurs sont généralement sollicités de façon plus intensive que les autres charges électriques (éclairage, chauffage), notamment en raison de cycles de fonctionnement plus courts et plus rapprochés et du courant d'appel élevé.

La commutation de leur circuit d'alimentation nécessite un appareil de commande particulier qui permet de répondre à l'ensemble de ces contraintes : c'est le contacteur de puissance (aussi nommé contacteur-moteur).

Le contacteur de puissance est composé de contacts fixes et de contacts mobiles mus par une bobine qui, lorsqu'elle est alimentée, ferme ses contacts et assure la continuité électrique entre les bornes amont et aval, permettant ainsi l'alimentation électrique du moteur. D'autres récepteurs exigeants peuvent aussi être alimentés par ce type de contacteur.



Il est caractérisé par :

- une grande endurance électrique et mécanique,
- un nombre de cycles de fonctionnement (cadence) par heure élevé en adéquation avec la fréquence d'utilisation du moteur,
- une structure renforcée et cloisonnée de façon à limiter et à confiner l'arc électrique.

Sa sélection se fait selon plusieurs critères, résumés dans le tableau suivant.

■ Critères à prendre en compte pour la définition des équipements de commande des moteurs

	CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES OU ENVIRONNEMENTALES	CRITÈRES	CARACTÉRISTIQUES DU CONTACTEUR
0	Caractéristiques du réseau		
0.1	Tension	12 V, 24V, 230V, 400V, 690V, 1000 V	Tension assignée d'emploi $U_e >$ tension de réseau Tension assignée d'isolement (U_i) Catégorie de surtension (classe), Tension de choc admissible (U_{imp})
0.2	Fréquence	50Hz, 60Hz, 400Hz	Fréquence assignée
1	Type de charge		
1.1	Nature du récepteur	Moteur triphasé asynchrone, Moteur monophasé, Moteur à courant continu Chauffage résistif, Transformateur, Etc.	Catégorie d'emploi
1.2	Caractéristiques du récepteur	Nombre de conducteurs Tension et fréquence de réseau Puissance nominale $\cos \phi$	Nombre de pôles Courant d'emploi
2	Méthode de démarrage		
2.1	Démarrage à pleine tension	Allumage (éclairage, chauffage etc), démarrage direct (moteurs), commutation des condensateurs et des inductances pour la correction du facteur de puissance	Courant établi et coupé (I_c) Courant assigné d'emploi (I_e) Courant thermique conventionnel à l'air libre (I_{th})
2.2	Démarrage sous tension réduite	Démarrage progressif (moteurs)	Courant établi et coupé (I_c) Courant assigné d'emploi (I_e)

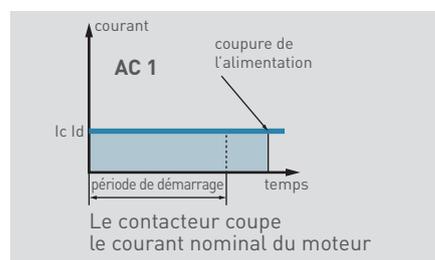
	CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES OU ENVIRONNEMENTALES	CRITÈRES	CARACTÉRISTIQUES DU CONTACTEUR
3	Mode de fonctionnement		
3.1	Fréquence d'utilisation	Usage en continu (VMC), intermittent (extrusion, levage, pompage), occasionnel (désenfumage) Fréquence de commutation (nombre par heure) Nombre de commutations (sur la durée de vie du produit)	Endurance électrique Endurance mécanique Facteur de marche (durée du passage du courant / durée du cycle de manœuvre)
4	Alimentation de la bobine du contacteur		
4.1	Nature du courant	Alternatif, continu Variation et chute de tension	Tension assignée du circuit de commande (Uc) Tension assignée d'alimentation de commande (Us)
	Temps de commutation	Changement d'état des contacts	Durée à l'ouverture ou à la fermeture
4.2	Puissance	Puissance d'appel Puissance de maintien	Consommation de la bobine (VA) , (W)
5	Circuits auxiliaires		
	Contacts auxiliaires	Report d'état Interverrouillage électrique Commande de circuits externes	Catégorie d'emploi AC14 AC15 DC13 Conformité des contacts auxiliaires à la définition normative de «contacts miroirs»
6	Installation		
6.1	Environnement	Température ambiante à l'extérieur du coffret Température autour de l'appareil Altitude Poussière, Gaz, Vibrations, Huile	Degré de pollution Espacement entre les contacteurs Dissipation thermique (bobine et contacts) Plage de température de fonctionnement (haute et basse) Déclassement selon l'altitude si > 2000m Valeurs de tenue aux chocs mécaniques et aux vibrations
6.2	Raccordement	Type de bornes sans ou avec préparation des conducteurs (embouts, cosse, etc) Sections de câbles	Capacités de raccordement des bornes
6.3	Equipement associé	Protection thermique du moteur Protection de la ligne	Compatibilité fonctionnelle avec le disjoncteur-moteur ou le relais thermique Coordination de type 2
6.4	Montage	Rail, Platine	Entraxes de fixation, dimension et type de rails Position de montage des rails

Catégories d'emploi

CATÉGORIES D'EMPLOI EN COURANT ALTERNATIF

AC-1 : Cette catégorie s'applique à tous les récepteurs fonctionnant sous **courant alternatif**, dont le **facteur de puissance est égal ou supérieur à 0,95**.

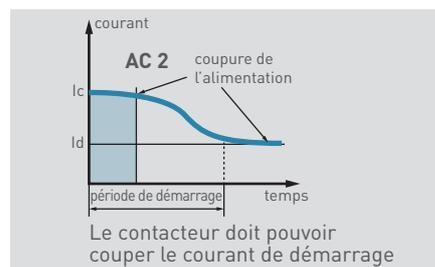
Entrent dans cette catégorie les charges résistives habituelles (chauffage, fours), les charges compensées (éclairage). Le courant d'emploi AC-1 du contacteur est également considéré dans les opérations de délestage et de commutation des systèmes de distribution (jeux de barres); ces opérations devant rester dans le cadre de toutes les caractéristiques du contacteur pour les charges considérées.



AC-2 : Cette catégorie s'applique aux **moteurs à bague**, en démarrage, freinage à contre-courant ainsi qu'en marche par à-coups.

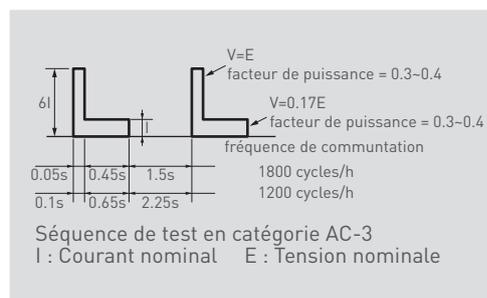
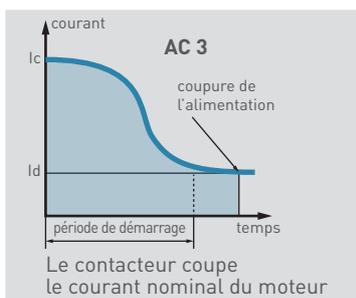
L'appel de courant à la fermeture peut atteindre plusieurs fois le courant nominal du moteur.

Cette surintensité rend l'ouverture ou la réouverture des contacts plus contraignante et plus difficile ; le déphasage tension / courant restant important.



AC-3 : Cette catégorie s'applique aux **moteurs à cage** dont la coupure s'effectue moteur lancé.

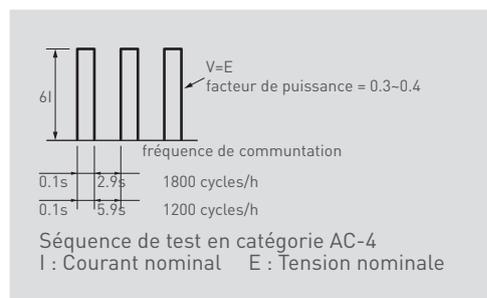
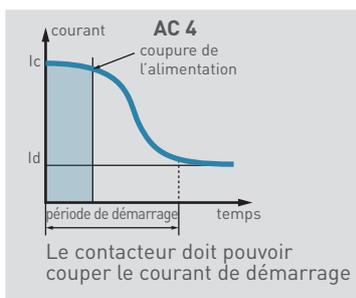
L'appel de courant à la fermeture atteint 5 à 8 fois le courant nominal du moteur. A l'ouverture, le courant est interrompu suivant les caractéristiques nominales du moteur avec un déphasage tension / courant limité. La coupure se fait aisément.



AC-4 : Cette catégorie s'applique aux **moteurs à cage** utilisés de façon intensive, en marche par à-coup, inversion de sens de marche, freinage à contre-courant (machines de levage et manutention par exemple).

L'appel de courant à la fermeture atteint 5 à 8 fois le courant nominal du moteur. A l'ouverture, il interrompt ce même courant à une tension d'autant plus élevée que la vitesse du moteur est réduite. La coupure est plus difficile qu'en régime AC-3.

En général, ce mode de fonctionnement implique de sur-dimensionner les appareils de commande pour cette catégorie.

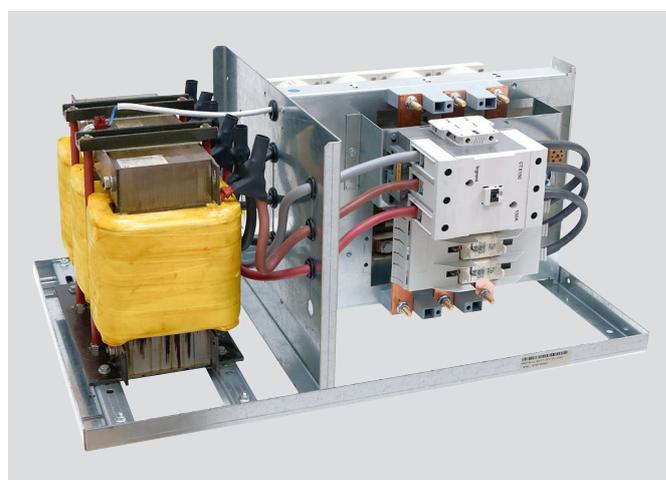


CATÉGORIES D'EMPLOI EN COURANT ALTERNATIF (SUITE)

AC-6a : Cette catégorie s'applique aux transformateurs ferro-magnétiques BT. Lorsque la commutation est effectuée au niveau des enroulements primaires, à la mise sous tension du transformateur, la valeur de crête du courant d'appel peut atteindre 5 à 25 fois l'intensité nominale. (Cette valeur est dépendante de la puissance du transformateur et de l'impédance amont du réseau d'alimentation.)

AC-6b : Cette catégorie s'applique aux condensateurs, utilisés pour la correction du facteur de puissance. Lorsque plusieurs batteries ou gradins sont connectés en parallèle, il est nécessaire de limiter les surintensités transitoires en utilisant des inductances en série avec les condensateurs ou en mettant sous tension les condensateurs par l'intermédiaire d'une résistance.

En l'absence de tels dispositifs, l'intensité assignée du contacteur doit être choisie avec une valeur majorée.



Racks Alpimatic avec self anti-harmonique

CATÉGORIES D'EMPLOI EN COURANT CONTINU

DC-1 : Cette catégorie s'applique aux récepteurs fonctionnant sous courant continu dont la constante de temps (L/R) est inférieure ou égale à 1 ms. L'appel de courant à la fermeture peut atteindre 1,5 fois le courant nominal de la charge.

Exemples : Charges non inductives ou faiblement inductives, fours à résistances.

DC-3 : Cette catégorie s'applique aux moteurs à excitation parallèle dont la constante de temps (L/R) est inférieure ou égale à 2,5 ms. L'appel de courant à la fermeture peut atteindre 4 fois le courant nominal du moteur lors des phases de démarrage, d'inversion de sens de marche, de marche par à-coups. A l'ouverture, le contacteur doit interrompre un courant pouvant atteindre 4 fois le courant nominal du moteur sous la tension de réseau. Lors de la coupure, la tension est d'autant plus élevée que la vitesse du moteur est réduite.

DC-5 : Cette catégorie s'applique aux moteurs à excitation série dont la constante de temps (L/R) est inférieure ou égale à 15 ms. L'appel de courant à la fermeture peut atteindre 4 fois le courant nominal du moteur lors des phases de démarrage, d'inversion de marche, de marche par à-coups. L'appel de courant à la fermeture peut atteindre 2,5 fois le courant nominal du moteur. A l'ouverture, il doit interrompre ce courant à une tension inférieure ou égale à la tension de réseau.

Conditions d'établissement et de coupure du courant

La coupure en courant continu est plus difficile qu'en courant alternatif et ce, d'autant plus que la constante de temps est élevée. Pour cette raison, il peut être utile de connecter les pôles en série pour augmenter la capacité de coupure du contacteur en courant continu. En courant alternatif, il est possible de connecter les pôles en parallèle en respectant certaines règles.

La norme IEC60947-4-1 définit les conditions suivantes pour les séquences d'essais de chaque catégorie d'emploi en usage normal. Les contacteurs Legrand conformes à cette norme sont également testés dans des conditions d'usage occasionnel. Conditions d'établissement et de coupure selon les catégories d'emploi en service (Cf tableau 10).

CATÉGORIE	FERMETURE			OUVERTURE		
	I/I	U/U	Cosφ ou L/R(ms)	I/I	U/U	Cosφ ou L/R(ms)
CONTACTEURS POUR COUPURE EN COURANT ALTERNATIF						
AC-1	1	1	0.95	1	1	0.95
AC-2	2.5	1	0.65	2.5	1	0.65
AC-3	I ≤ 17A	6	1	1	0.17	0.65
	17 < I ≤ 100 A	6	1	1	0.17	0.35
	I > 100A	6	1	1	0.17	0.35
AC-4	I ≤ 17A	6	1	6	1	0.65
	17 < I ≤ 100 A	6	1	6	1	0.35
	I > 100A	6	1	6	1	0.35
CONTACTEURS POUR COUPURE EN COURANT CONTINU						
DC-1	1	1	1	1	1	1
DC-3	2.5	1	2	2.5	1	2
DC-5	2.5	1	7.5	2.5	1	7.5

CATÉGORIE D'EMPLOI	CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT ET DE COUPURE					
	I _c / I _e	U _r / U _e	Cos φ	Durée de passage do courant ^b s	Durée de repos s	Nombre de cycles de manœuvres
AC-1	1.0	1.05	0.80	0.05 ^b	^c	6000 ⁱ
AC-2	2.0	1.05	0.65	0.05 ^b	^c	6000 ⁱ
AC-3	2.0	1.05	^a	0.05 ^b	^c	6000 ⁱ
AC-4	6.0	1.05	^a	0.05 ^b	^c	6000 ⁱ
AC-5a	2.0	1.05	0.45	0.05 ^b	^c	6000 ⁱ
AC-5b	1.0 ^e	1.05	^e	0.05 ^b	60	6000 ⁱ
AC-6	^g	^g	^g	^g	^g	^g
AC-8a	1.0	1.05	0.80	0.05 ^b	^c	30000
AC-8b ^h	6.0	1.05	^a	1	9	5900
				10	60 ^d	100
			L/R ms			
DC-1	1.0	1.05	1.0	0.05 ^b	^c	6000 ⁱ
DC-3	2.5	1.05	2.0	0.05 ^b	^c	6000 ⁱ
DC-5	2.5	1.05	7.5	0.05 ^b	^c	6000 ⁱ
DC-6	1.0 ^e	1.05	^e	0.05 ^b	60	6000 ⁱ

I_c = courant établi ou coupé. Sauf pour les catégories AC-5b, AC-6 ou DC-6, le courant d'établissement est exprimé en courant continu ou en courant alternatif, comme la valeur efficace des composantes symétriques, étant entendu qu'en courant alternatif, la valeur réelle de crête au cours de la manœuvre d'établissement peut avoir une valeur plus élevée que la valeur de crête de la composante symétrique

I_e = courant assigné d'emploi

U_i = tension de rétablissement à fréquence industrielle ou en courant continu

U_e = tension assignée d'emploi

a = Cos φ = 0,45 pour I_e ≤ 100 A; 0,35 pour I_e > 100 A.

b = La durée peut être inférieure à 0,05 s, à condition que les contacts puissent être convenablement positionnés

c = Ces durées de repos ne doivent pas être supérieures aux valeurs du Tableau 8.

d = Le constructeur peut choisir n'importe quelle valeur pour la durée de repos jusqu'à 200 s.

e = Essais à effectuer avec une charge constituée par des lampes à incandescence.

f = 3 000 cycles de manœuvres à une polarité et 3 000 cycles de manœuvres à la polarité inverse.

g = A l'étude.

h = Les essais pour la catégorie AC-8b doivent être complétés par les essais pour la catégorie AC-8a. Ces essais peuvent être effectués sur des échantillons différents.

i = Pour les appareils de connexion à commande manuelle, le nombre de cycles de manœuvres doit être 1 000 en charge, suivis de 5 000 à vide.

j = Il est admis qu'un rapport inférieur I_c/I_e (courant à rotor bloqué sur le courant à pleine charge) soit utilisé si cela est spécifié par le fabricant.

Applications des contacteurs

APPLICATIONS EN CATÉGORIE AC-1

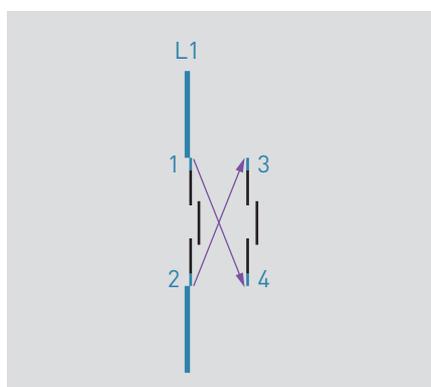
■ Courant d'emploi maximal et puissance maximale admissible

		CTX ³ 22				CTX ³ 40		CTX ³ 65		CTX ³ 100			CTX ³ 150		CTX ³ 225		CTX ³ 400			CTX ³ 800		
		9 A	12 A	18 A	22 A	32 A	40 A	50 A	65 A	75 A	85 A	100 A	130 A	150 A	185 A	225 A	265 A	330 A	400 A	500 A	630 A	800 A
Nombre de cycles maxi par heure		600											-									
Câble	mm ²	4	10	10	10	10	16	25	35	35	50	50	70	95	95	150	240	240	370	480	-	-
Courant d'emploi maxi ≤40°C	A	25	25	32	40	50	60	70	100	110	135	140	160	210	230	275	300	350	450	580	660	900
Courant d'emploi maxi ≤55°C	220/240 V	10	10	13	17	21	25	29	42	46	56	58	61	80	88	105	114	133	171	221	251	343
	380/440 V	19	19	24	30	38	46	53	76	84	103	107	105	138	151	181	197	230	296	382	434	592
	500/550 V	24	24	30	38	48	57	67	95	105	129	133	139	182	199	238	260	303	390	502	572	779
	690 V	30	48	48	60	72	84	90	120	131	161	167	191	251	275	329	359	418	538	693	789	1076

■ Courant d'emploi avec pôles connectés en parallèle

Il est possible d'augmenter le courant d'emploi du contacteur indiqué dans le tableau précédent en utilisant plusieurs pôles connectés en parallèle et en appliquant les coefficients suivants :

- 2 pôles en parallèle K = 1.6
- 3 pôles en parallèle K = 2.25
- 4 pôles en parallèle K = 2.8



Il est recommandé de raccorder les contacts mis en parallèle en croisant les connexions, afin de répartir de manière égale le courant dans chaque pôle.

LA COMMANDE DES MOTEURS

APPLICATIONS EN CATÉGORIE AC-1 (SUITE)

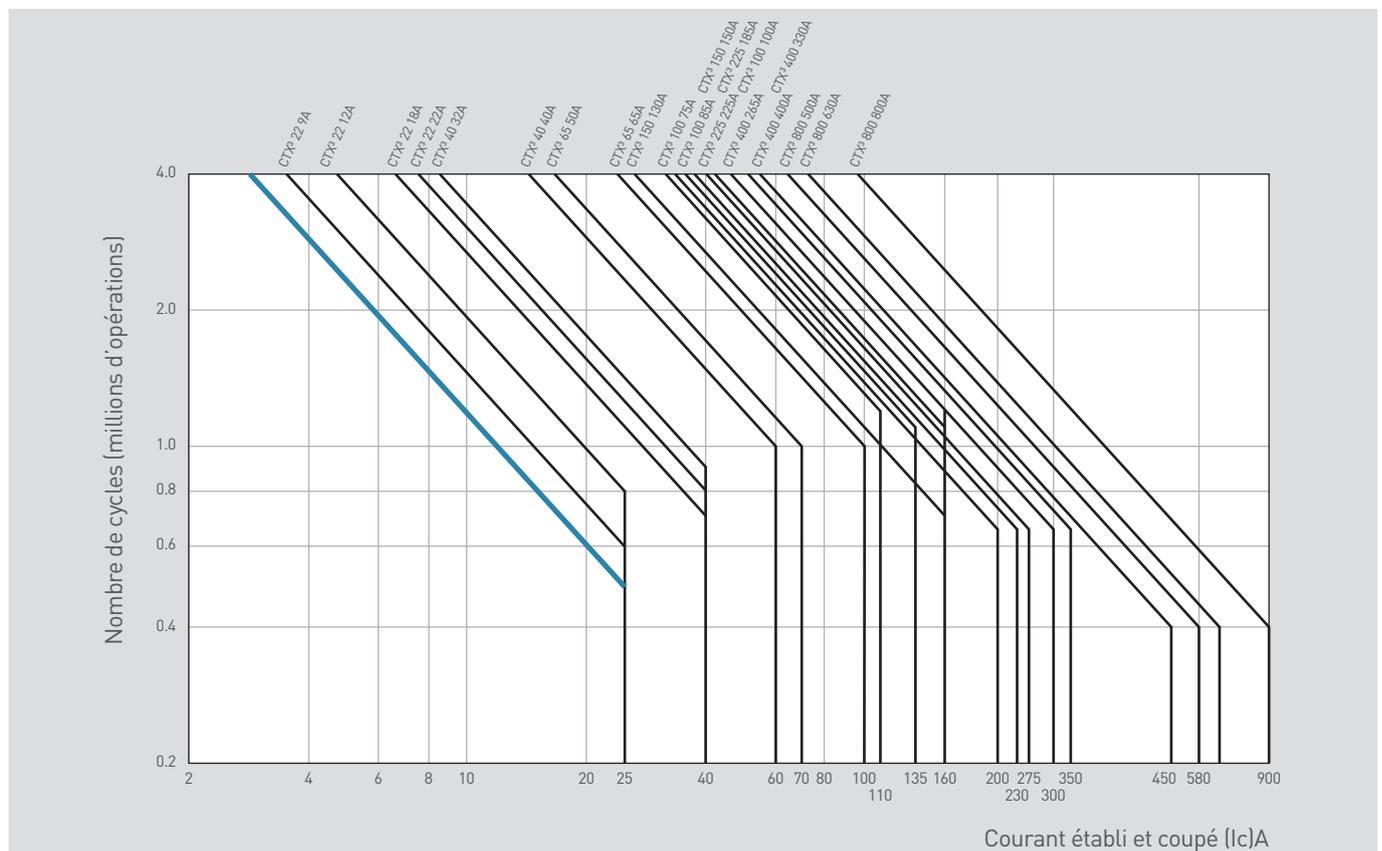
■ Endurance électrique

Les données suivantes sont applicables pour une tension maximale de 440V et un facteur de puissance supérieur à 0.95 pour la commutation de charges résistives.

Les conditions d'établissement et d'interruption de courant sont les suivantes :

CATÉGORIE	POUVOIR ASSIGNÉ DE FERMETURE ET DE COUPURE		ENDURANCE ÉLECTRIQUE	
	FERMETURE	COUPURE	FERMETURE	COUPURE
AC-1	1.5Ie, 1.1Ue Cos φ 0.95	1.5Ie, 1.1Ue Cos φ 0.95	Ie, Ue Cos φ 0.95	Ie, Ue Cos φ 0.95

(Note) Ie : Courant assigné d'emploi, Ue : tension assignée d'emploi, Cos φ : facteur de puissance



Exemple : pour un courant d'emploi AC-1 de 50A et une endurance de 2 millions de manœuvres pour une température ambiante extérieure inférieure à 40°C, il convient de sélectionner un CTX³ 65A.

APPLICATIONS EN CATÉGORIE AC-3

■ Courant d'emploi maximal et puissance maximale admissible (t° < 55°C)

TYPE			CTX ³ 22				CTX ³ 40		CTX ³ 65		CTX ³ 100			CTX ³ 150		CTX ³ 225		CTX ³ 400		CTX ³ 800					
			9 A	12 A	18 A	22 A	32 A	40 A	50 A	65 A	75 A	85 A	100 A	130 A	150 A	185 A	225 A	265 A	330 A	400 A	500 A	630 A	800 A		
Courant d'emploi maxi.	≤440V	A	9	12	18	22	32	40	50	65	75	85	95	120	150	185	225	265	330	400	500	630	800		
			Courant d'emploi maxi ≤55°C	220/240V	2.5	3.5	4.5	5.5	7.5	11	15	18.5	22	25	30	37	45	55	75	80	90	125	147	190	220
				380/440V	4	5.5	7.5	11	11	18.5	22	30	37	45	55	60	75	90	132	147	160	200	265	330	400
				500/550V	4	7.5	7.5	15	15	22	30	33	37	45	55	60	75	110	132	147	160	225	265	330	400
	690 V		4	7.5	7.5	15	15	22	30	33	37	45	55	55	75	110	140	160	200	250	300	400	500		

■ Nombre de cycles maxi par heure

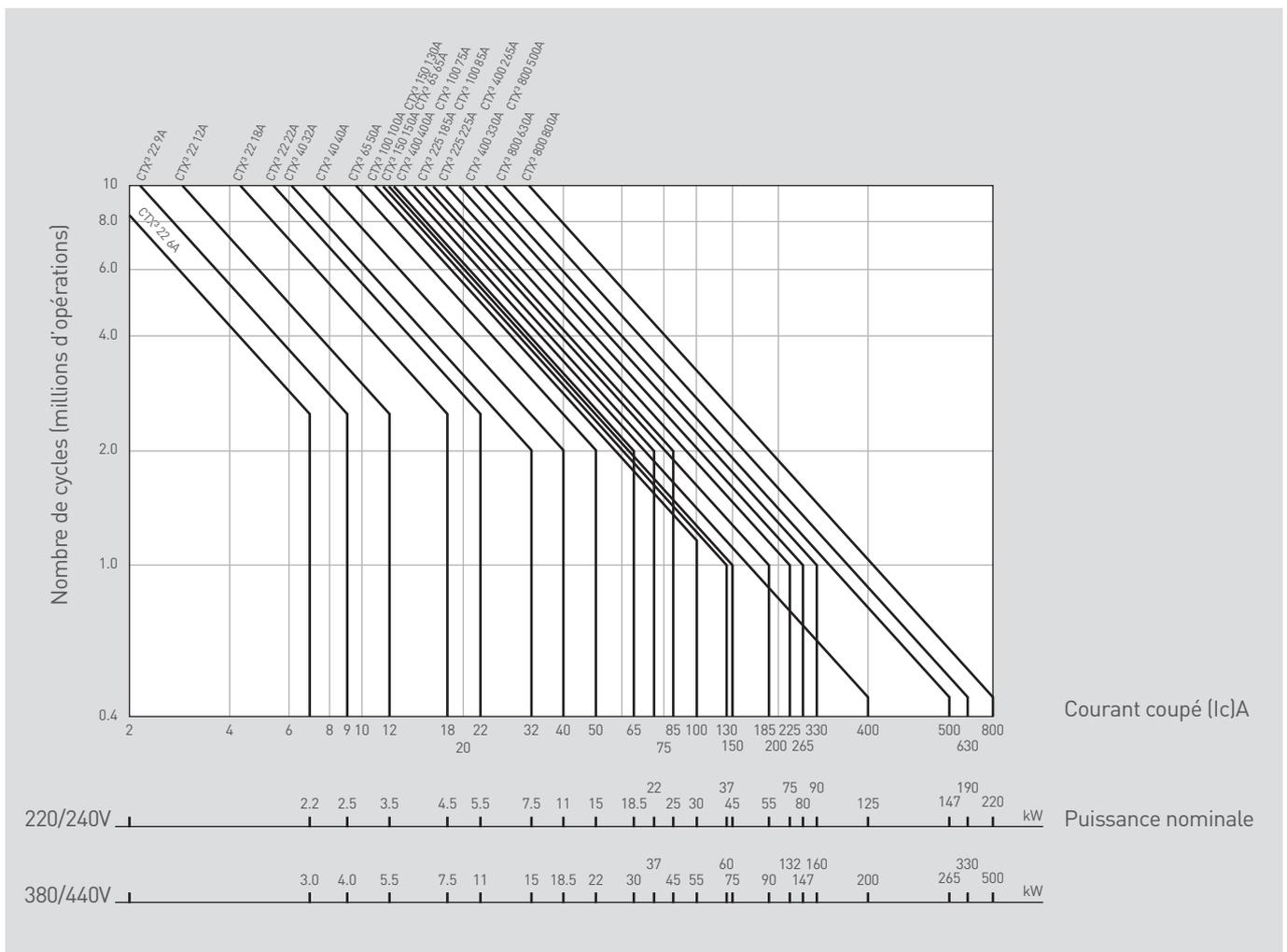
NOMBRE DE CYCLES	CTX ³ 22				CTX ³ 40		CTX ³ 65		CTX ³ 100			CTX ³ 150		CTX ³ 225		CTX ³ 400		CTX ³ 800				
	9 A	12 A	18 A	22 A	32 A	40 A	50 A	65 A	75 A	85 A	100 A	130 A	150 A	185 A	225 A	265 A	330 A	400 A	500 A	630 A	800 A	
1 / h	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200

LA COMMANDE DES MOTEURS

APPLICATIONS EN CATÉGORIE AC-3 (SUITE)

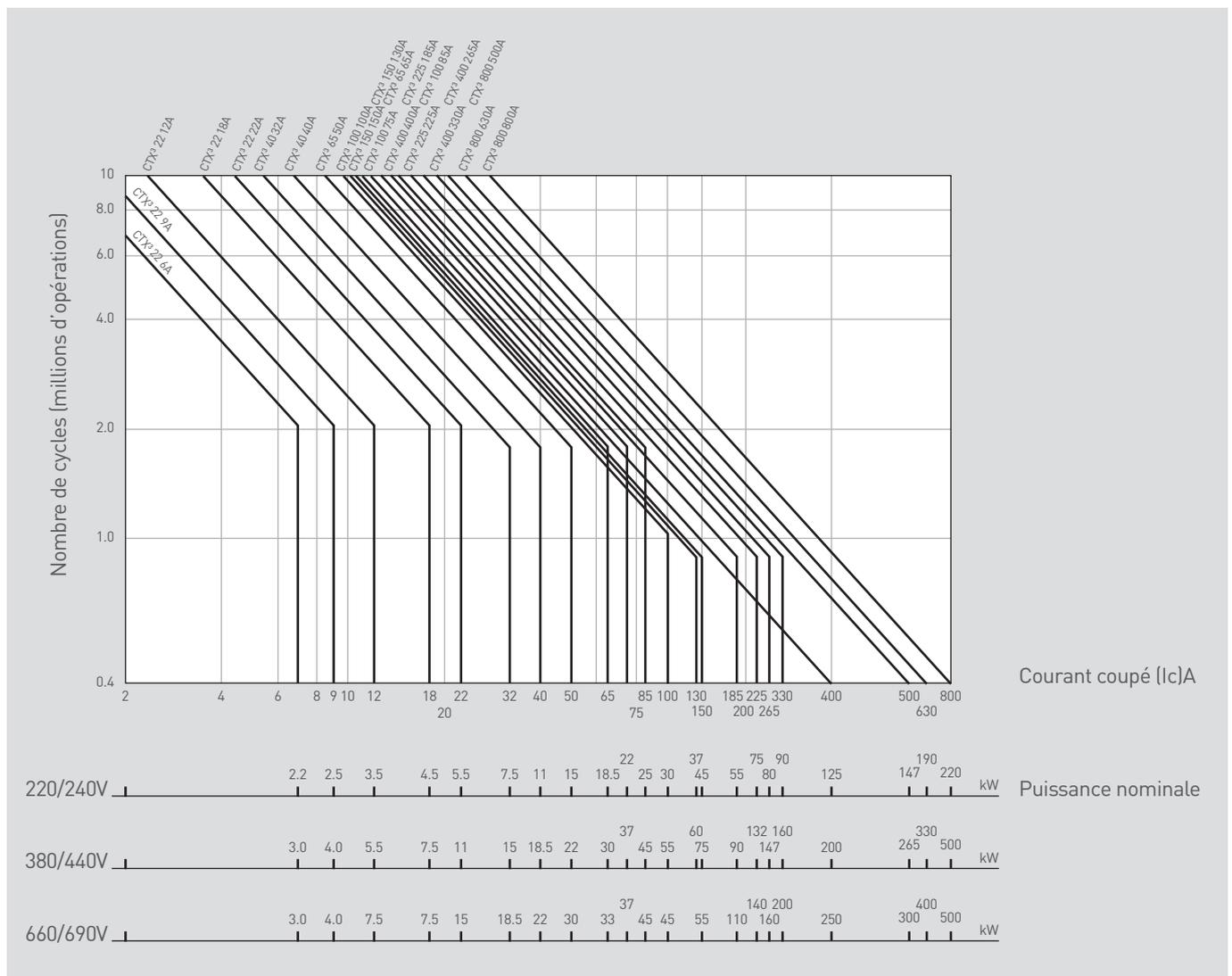
■ Endurance électrique

Tension d'emploi < 440V



■ Endurance électrique (suite)

Tension d'emploi < 690V



LA COMMANDE DES MOTEURS

APPLICATIONS EN CATÉGORIE AC-2 / AC-4

■ Courant d'emploi maximal et puissance maximale admissible

AC-2 : moteurs à bague

AC-4 : moteurs à cage

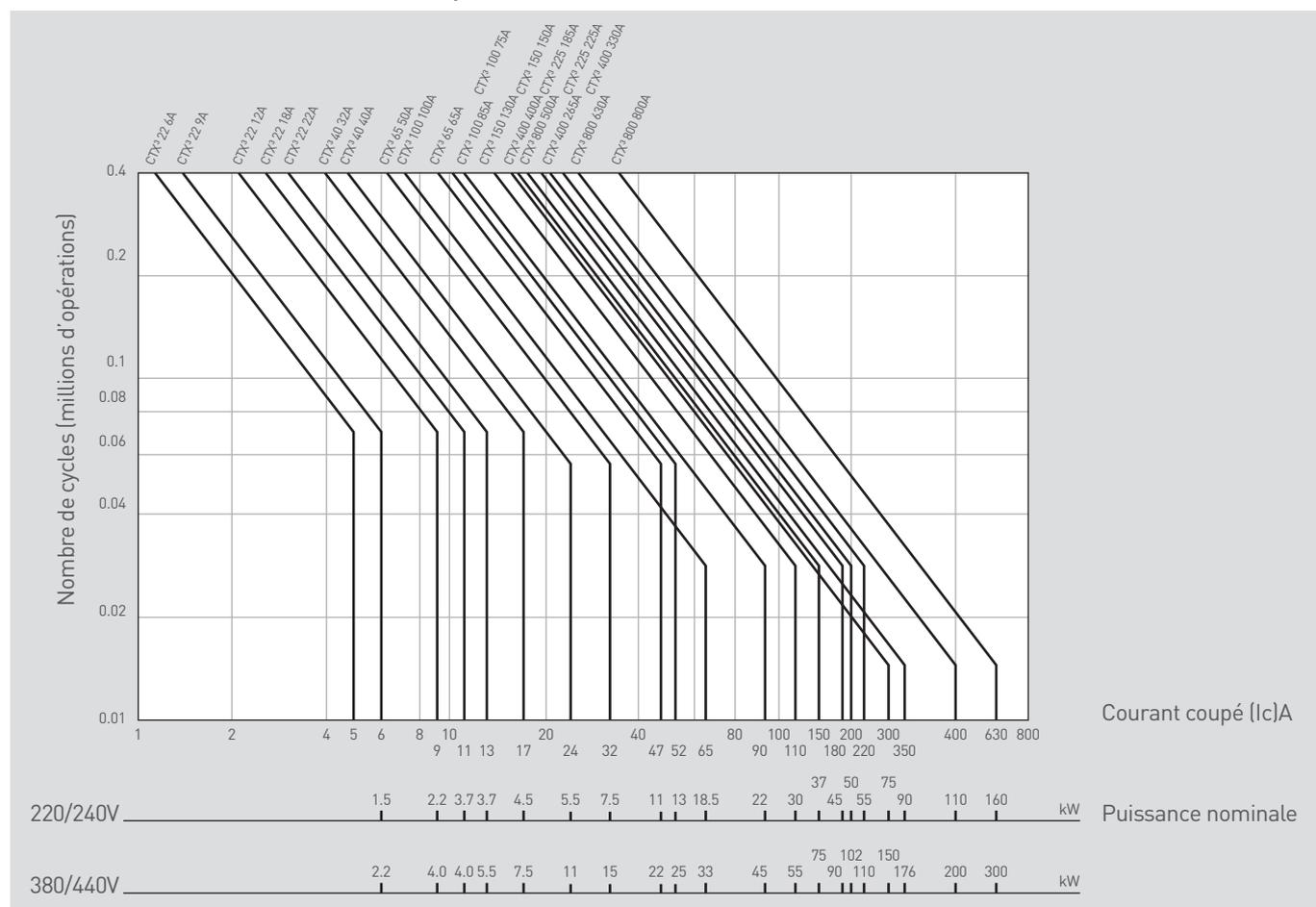
NOMBRE DE CYCLES	CTX ³ 22				CTX ³ 40		CTX ³ 65		CTX ³ 100			CTX ³ 150		CTX ³ 225		CTX ³ 400			CTX ³ 800		
	9 A	12 A	18 A	22 A	32 A	40 A	50 A	65 A	75 A	85 A	100 A	130 A	150 A	185 A	225 A	265 A	330 A	400 A	500 A	630 A	800 A
U _e ≤ 440V	54	72	108	132	192	240	300	390	450	510	570	780	900	1110	1350	1590	1980	2400	3000	3600	4800
440V < U _e ≤ 690V	40	50	70	80	105	150	170	210	210	250	250	540	640	708	810	1020	1410	1830	2130	2760	2910

APPLICATIONS EN CATÉGORIE AC-2 / AC-4 (SUITE)

■ Puissance maximale AC-4

TENSION D'EMPLOI \ PUISSANCE NOMINALE (kW)	CTX ³ 22				CTX ³ 40		CTX ³ 65		CTX ³ 100			CTX ³ 150		CTX ³ 225		CTX ³ 400			CTX ³ 800		
	9 A	12 A	18 A	22 A	32 A	40 A	50 A	65 A	75 A	85 A	100 A	130 A	150 A	185 A	225 A	265 A	330 A	400 A	500 A	630 A	800 A
220/240 V	1.5	2.2	3.7	3.7	4.5	5	5.5	7.5	7.5	7.5	9	22	30	37	45	50	55	75	90	110	160
380/440 V	2.2	4	4	5.5	7.5	9	11	11	11	15	15	45	55	75	90	102	110	150	176	200	300
415 V	2.2	4	4	5.5	7.5	9	11	11	11	15	15	45	55	75	90	102	110	150	176	200	300
440 V	2.2	4	4	5.5	7.5	9	11	15	15	15	15	45	55	75	90	102	110	150	176	200	300

■ Tableau de sélection (endurance électrique)



Exemple : $I_c = 6 \times I_e = 66A$ pour un moteur 5.5kW, $U_e = 400V$ $I_e = 11A$. Pour une endurance de 200000 manœuvres, il convient de sélectionner un contacteur 22A.

LA COMMANDE DES MOTEURS

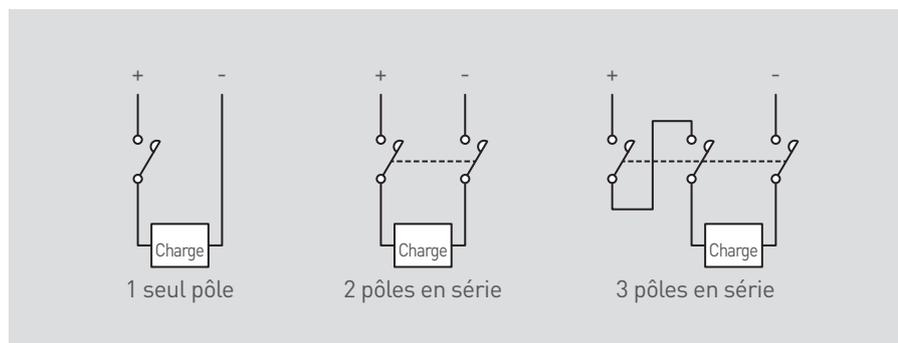
APPLICATIONS EN CATÉGORIE DC-1 / DC-3, DC-5

■ Mode de raccordement des pôles en série

En courant continu, un seul contact suffit pour couper l'alimentation du récepteur, mais en utilisant plusieurs contacts en série, on peut augmenter la capacité de coupure du contacteur. Cela permet de répartir l'arc généré par la surtension de commutation sur l'ensemble des pôles et d'optimiser le coût de la solution.

Appliqués aux charges résistives telles que les fours à arc en courant continu, les contacteurs peuvent être utilisés pour un courant supérieur à celui de charges telles que les moteurs, en raison d'un courant d'appel faible et d'un facteur de puissance élevé.

Ainsi, la coupure en DC-1 est plus facile qu'en DC-3 ou DC-5, ce qui conduit à établir le tableau suivant :



Charge du moteur (catégorie DC-3 - DC-5) : time constant L/R = 15ms.

		CTX ³ 22				CTX ³ 40		CTX ³ 65		CTX ³ 100		CTX ³ 150		CTX ³ 225		CTX ³ 400		CTX ³ 800					
		9 A	12 A	18 A	22 A	32 A	40 A	50 A	65 A	75 A	85 A	100 A	130 A	150 A	185 A	225 A	265 A	330 A	400 A	500 A	630 A	800 A	
24 V	1	12	12	12	12	20	20	35	35	40	40	40	40	200	200	240	260	300	360	430	580	850	1300
	2	15	15	15	15	25	25	45	45	60	60	60	60	200	200	240	260	300	360	430	580	850	1300
	3	18	18	18	18	30	30	55	55	80	80	80	80	200	200	240	260	300	360	430	580	850	1300
48/75 V	1	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15	15	15	200	200	240	260	300	360	430	580	850	1300
	2	12	12	12	12	20	20	40	40	50	50	50	50	200	200	240	260	300	360	430	580	850	1300
	3	15	15	15	15	30	30	50	50	70	70	70	70	200	200	240	260	300	360	430	580	850	1300
110 V	1	2	2	2	2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	8	8	8	8	15	15	25	25	40	40	40	40	140	140	160	180	250	300	350	500	700	1000
	3	12	12	12	12	20	20	35	35	60	60	60	60	200	200	240	240	250	310	350	550	850	1000
220 V	1	0.75	0.75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	1.5	1.5	2	2	3	3	5	5	7	7	7	7	120	120	140	160	220	280	310	480	680	900
	3	6	6	6	6	10	10	25	25	35	35	35	35	140	140	160	160	250	300	350	500	700	1000

APPLICATIONS POUR MOTEUR A BAGUES

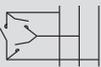
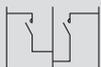
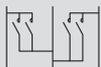
Le contacteur est utilisé pour court-circuiter les résistances du circuit rotorique utilisées lors du démarrage ou de l'arrêt du moteur à bagues.

Dans le cas du démarrage, le contacteur est utilisé dans une fonction de fermeture (court-circuit progressif des résistances jusqu'à l'élimination totale de celles-ci). A la fermeture du contacteur statorique, le contacteur rotorique doit être ouvert.

Dans le cas de l'arrêt ou du freinage, le contacteur est utilisé dans une fonction d'ouverture, pour insérer progressivement les résistances dans le circuit rotorique. Son ouverture intervient après la l'ouverture du contacteur statorique.

Ces deux modes de fonctionnement expliquent les caractéristiques différentes de tension rotorique (I_r).

Selon le mode de connexion, les valeurs I_e (courant d'emploi du contacteur) peuvent être différentes.

		RAPPORT I_r / I_e	TENSION ROTORIQUE MAXIMALE	TENSION ROTORIQUE MAXIMALE AVEC CONTRE-COURANT
Etoile		1	1500 V	750 V
Triangle		1.4	1250 V	625 V
En V		1	1250 V	625 V
En W		1.6	1250 V	750 V

NOMBRE DE CYCLES	DURÉE	TYPE	COURANT D'EMPLOI (A)																				
			CTX ³ 22				CTX ³ 40		CTX ³ 65		CTX ³ 100		CTX ³ 150		CTX ³ 225		CTX ³ 400		CTX ³ 800				
			9 A	12 A	18 A	22 A	32 A	40 A	50 A	65 A	75 A	85 A	100 A	130 A	150 A	185 A	225 A	265 A	330 A	400 A	500 A	630 A	800 A
≤ 30/h	6s		60	60	90	90	130	210	250	300	330	360	380	390	450	550	670	800	900	1100	1500	2000	2500
	12s		50	50	60	60	125	160	200	250	275	300	320	250	280	400	480	550	600	730	1000	1500	2000
	20s		35	35	45	45	90	100	110	120	135	150	170	190	220	300	360	400	450	550	750	1200	1500
> 30/h			25	25	32	32	50	60	80	80	100	125	140	170	200	270	330	350	420	500	700	1000	1600

Autres applications des contacteurs de puissance

ÉCLAIRAGE

Les courants d'appels générés à la mise sous tension des récepteurs ainsi que leur facteur de puissance dépendent du type de source lumineuse, du mode de connexion et de leur compensation. Pour cet usage, la norme IEC60947-4-1 définit deux catégories d'emploi : AC-5a pour la commande des lampes à décharges, AC-5b pour la commande des lampes à incandescence.

Le courant d'enclenchement est particulièrement élevé pour les lampes fluorescentes et les lampes à mercure (jusqu'à 10 fois leur courant nominal). Pour les LEDS, il est peut être encore plus élevé (selon l'électronique de compensation).

Afin de garantir des performances optimales, la sélection du contacteur peut se faire en s'assurant que la somme des courants nominaux des sources lumineuses commandées reste inférieure au courant d'emploi AC-3 du contacteur. Pour le bilan de puissance, le fonctionnement est supposé constant (appareils allumés en permanence) et le coefficient de diversité égal à 1 (tous les appareils sont commandés simultanément).

La protection d'une ligne d'éclairage se fait grâce à un dispositif de protection contre les courts-circuits (disjoncteur magnétothermique ou fusible) selon les critères habituels de sélection (longueur de ligne, section, âme, type de conducteur, mode de pose, etc.) et de la nature du récepteur (puissance, courant d'appel, $\cos \phi$). En règle générale, l'éclairage n'est pas supposé générer de surintensité.

Les appareils d'éclairage présentent une grande diversité dans leurs caractéristiques électriques. En raison d'un grand nombre de critères de sélection, les tableaux de choix sont reportés dans les fiches techniques des contacteurs CTX³ qui documentent de façon exhaustive les applications liées à cet usage.

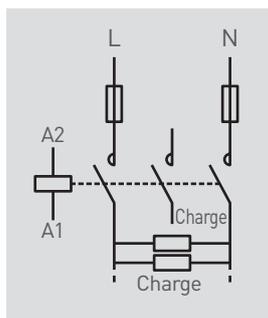
CHAUFFAGE

A l'instar des appareils d'éclairage, les appareils de chauffage électrique de type rayonnant ou infrarouge, ne génèrent pas de surcharge électrique. Ce sont des récepteurs dits passifs, par opposition aux récepteurs dits actifs comme les moteurs, pour lesquels il existe une corrélation entre la charge mécanique qui leur est appliquée et le courant qu'ils absorbent.

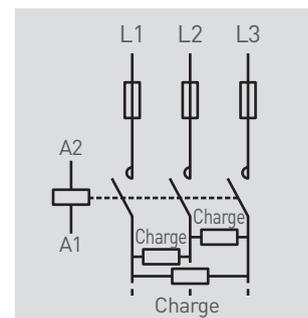
Le courant d'appel d'un appareil de chauffage est relativement faible, étant lié à sa nature résistive. Il vaut en moyenne 2 à 3 fois le courant nominal du récepteur. Une fois son état stabilisé, sa consommation reste constante. Pour cette raison, il n'est pas utile d'utiliser une protection thermique spécifique. En revanche, la ligne doit être protégée par un DPCC, défini selon les critères habituels de sélection (longueur de ligne, section, âme, type de conducteur, mode de pose, etc.) pour le récepteur considéré (puissance, courant d'appel, $\cos \phi$).

Il n'y a pas de déphasage entre tension et intensité et on considère ainsi que ce type d'application a un $\cos \phi$ équivalent à 1 (classification type AC-1). Néanmoins pour les appareils mixtes, équipés de ventilation (aérothermes) ou de pompes (réchauffeurs industriels), il convient de se référer au $\cos \phi$ indiqué dans les données techniques du constructeur.

- Commutation en régime monophasé



- Commutation en régime triphasé



CHAUFFAGE (SUITE)

Commutation sur 2 pôles

TYPE DE CONTACTEUR		CTX ³ 22				CTX ³ 40		CTX ³ 65		CTX ³ 100			CTX ³ 150		CTX ³ 225		CTX ³ 400			CTX ³ 800		
		9 A	12 A	18 A	22 A	32 A	40 A	50 A	65 A	75 A	85 A	100 A	130 A	150 A	185 A	225 A	265 A	330 A	400 A	500 A	630 A	800 A
Puissance maxi (kW)	240/240 V	4	4	5	5	9	11	14	14	20	20	20	44	44	48	52	80	75	86	116	155	225
	380/415 V	7	7	9	9	15	19	24	24	35	35	35	76	76	83	90	104	130	145	200	368	389
	660/690 V	12	12	15.5	15.5	25.5	33	41.5	41.5	61	61	61	118	118	130	145	160	200	230	310	415	602

Commutation sur 3 pôles

TYPE DE CONTACTEUR		CTX ³ 22				CTX ³ 40		CTX ³ 65		CTX ³ 100			CTX ³ 150		CTX ³ 225		CTX ³ 400			CTX ³ 800		
		9 A	12 A	18 A	22 A	32 A	40 A	50 A	65 A	75 A	85 A	100 A	130 A	150 A	185 A	225 A	265 A	330 A	400 A	500 A	630 A	800 A
Puissance maxi (kW)	240/240 V	6	6	8	8	15	19	24	24	34	34	34	76	76	82	90	103	130	149	200	268	389
	380/415 V	11	11	15.5	15.5	26	32	41	41	59	59	59	131	131	143	155	179	225	256	346	464	672
	660/690 V	21	21	27	27	44	57	72	72	105	105	105	206	206	220	250	275	345	395	530	710	1030

LA COMMANDE DES MOTEURS

TRANSFORMATEUR BT/BT

Commutation des 3 phases du primaire des transformateurs BT / BT : Conformément à la norme IEC 947-4-1 (Tableau VII b). La mise sous tension d'un transformateur BT/BT est comparable à celle d'un moteur asynchrone. Elle génère un fort courant d'appel dont il faut tenir compte dans le dimensionnement des contacteurs. La norme IEC60947-4-1 définit une catégorie d'emploi spécifique pour ce type d'application : AC-6a.

La valeur de crête du courant d'appel liée à la magnétisation des enroulements du primaire est dépendante de la puissance du transformateur. Elle peut atteindre entre 10 et 30 fois le courant nominal du transformateur sur une période de quelques dizaines de millisecondes, après laquelle le transformateur atteint son équilibre de fonctionnement.

■ Sélection des contacteurs

Les données indiquées ci-dessous sont applicables pour une température inférieure à +55°C et pour un nombre de cycles horaires maximal de 60.

TYPE DE CONTACTEUR		CTX ³ 22				CTX ³ 40		CTX ³ 65		CTX ³ 100		
		9 A	12 A	18 A	22 A	32 A	40 A	50 A	65 A	75 A	85 A	100 A
Puissance maxi de fermeture (kVA)	240/240 V	3	4	5	6.1	8.5	16	16	18	18.1	19.3	24.1
	380/415 V	5	6.7	8.4	10.2	15	27	27	31	30.1	32.1	40.2
	415/440 V	5.5	7.3	9.2	11.2	17	32	32	36	33.2	35.4	44.2
	500 V	6.2	8.3	10.4	12.8	20	36	36	40	37.7	40.2	50.2
	660/690 V	8.6	11.5	14.4	17.6	26.5	48	48	53	52	55.5	69.3
Courant crête maxi de fermeture admissible - [A]		350	350	420	420	770	1250	1250	1400	1400	1550	1650

TYPE DE CONTACTEUR		CTX ³ 150		CTX ³ 225		CTX ³ 400			CTX ³ 800		
		130 A	150 A	185 A	225 A	265 A	330 A	400 A	500 A	630 A	800 A
Puissance maxi de fermeture (kVA)	240/240 V	31.3	31.3	40	45.8	50.7	64.5	74.8	99.8	114.7	179.6
	380/415 V	52.2	52.2	66.6	76.4	84.5	112	130.3	166.3	191.2	288.2
	415/440 V	57.5	57.5	73.3	84	92.9	123.2	149.4	182.9	210.3	323.1
	500 V	65.3	65.3	83.3	95.5	105.6	140	169.7	207.8	249.4	367.2
	660/690 V	90.1	90.1	115	131.8	142.5	173.5	200.8	268.9	329.9	411.11
Courant crête maxi de fermeture admissible - [A]		1800	2000	2900	3300	3800	5000	6300	7700	9000	12000

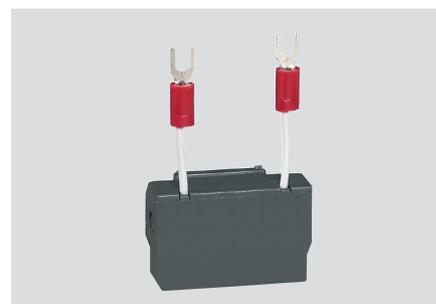
ALIMENTATION DE LA BOBINE

Lors de la mise sous tension du circuit de commande de la bobine du contacteur, l'énergisation de l'électroaimant génère un courant d'appel dans le câble et une chute de tension qui peut perturber la fermeture du contacteur.

En cas de chute de tension trop élevée, le contacteur peut ne pas se fermer et sa bobine se détruire par un échauffement excessif (elle continue d'appeler le courant nécessaire à sa fermeture, qui est plusieurs fois supérieur à son courant de maintien en générant des pertes calorifiques destructrices).

Les principaux facteurs de risque de non fermeture sont :

- Une longueur de ligne trop élevée
- Une section du conducteur trop faible
- Une tension d'alimentation trop faible

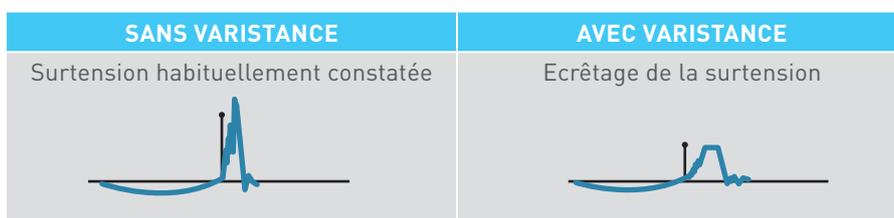


Il convient donc de tenir compte de ces facteurs lors de la définition des caractéristiques du circuit de commande des contacteurs. Plusieurs solutions sont possibles : augmenter la section des conducteurs, augmenter la tension d'alimentation, ce qui n'est pas toujours possible, ou mieux utiliser un relais de commande de la gamme CTX³.

Tant que la bobine est alimentée, l'électroaimant est fermé (position « travail »). La tension d'alimentation doit être maintenue à une valeur supérieure à la tension de décrochement, dite aussi de maintien (indiquée dans les fiches techniques).

Par conception, les contacteurs Legrand conservent leur niveau de performance optimal dans une plage allant de 85% à 110% de la tension d'alimentation de commande (U_c).

Afin de limiter la surtension provoquée par l'interruption d'alimentation de la bobine, un module de suppression de tension transitoire CTX³ (varistance) peut être inséré en parallèle des bornes d'alimentation du contacteur A1 et A2.



LE DÉPART MOTEUR

Conformément à la norme IEC 60364-5-53, les dispositifs de démarrage peuvent être combinés avec ceux assurant la protection des moteurs ; ils doivent alors répondre aux règles applicables aux dispositifs de protection.

Le départ moteur est constitué d'un ou plusieurs appareils qui associent les fonctions suivantes :

SECTIONNEMENT

Le sectionnement général de l'installation est rendu obligatoire, par exemple en France, par la NF-C 15 100. Au niveau du départ moteur, il est conseillé. Le disjoncteur moteur assure le sectionnement et permet de maintenir la continuité de service de l'installation en cas d'intervention sur un circuit déterminé. Le sectionnement permet d'**isoler le circuit situé en aval** et à l'opérateur d'y travailler en sécurité (pour des opérations de maintenance par exemple). Le sectionneur ne permet pas d'interrompre le circuit en charge.

INTERRUPTION

Complémentaire au sectionnement, l'interruption permet de **couper l'alimentation du récepteur en charge**. Elle est permise par l'emploi d'un interrupteur, qui peut également être sectionneur si les règles de cette fonction sont respectées (report d'état des contacts et distance d'isolement). Sur un disjoncteur-moteur, l'interruption est rendue possible par la bascule de la manette frontale en position OFF. A distance, elle se fait par l'emploi d'un contacteur ou par l'utilisation d'une bobine à déclenchement associée au disjoncteur pour les coupures d'urgence.

PROTECTION

Il convient d'assurer :

La **protection de la ligne** (protection magnétique ou magnétothermique). Les schémas électriques peuvent représenter un DPCC amont sous la forme de fusibles. Mais bien entendu, un disjoncteur magnétothermique, magnétique seul ou un disjoncteur-moteur assurent la même fonction.

La **protection du récepteur** (protection thermique). Les schémas électriques représentent souvent un relais thermique mais là aussi, un disjoncteur-moteur assure la fonction.

Les disjoncteurs moteurs MPX³ permettent à la fois d'assurer le sectionnement, l'interruption et la protection des circuits et des moteurs. Ils constituent le niveau de réponse le plus intégré.

COMMUTATION

La commutation est l'action de **permettre ou d'interrompre le passage du courant vers le récepteur**. C'est le rôle du contacteur. Sa commande, par alimentation de la bobine, se fait à distance de façon automatique (programmation via un automate) ou de façon manuelle (interface homme-machine). Le contacteur n'est généralement pas prévu pour être actionné mécaniquement de façon manuelle, sauf modèles particuliers tels que les contacteurs modulaires CX³.

En cas de besoin de commutation manuelle, un disjoncteur moteur peut être utilisé dans le respect de ses caractéristiques.

LA COORDINATION DE TYPE 1 ET DE TYPE 2

Le contacteur est essentiellement utilisé pour la commande des moteurs mais il n'assure pas leur protection thermique, ni la protection de ligne. Son courant d'emploi est limité. S'il n'est pas destiné à interrompre les surintensités générées par un court-circuit (c'est le rôle du disjoncteur), il doit néanmoins les supporter.

Il endure des surintensités comprises entre 8 et 10 fois son courant d'emploi nominal, conformément aux catégories d'emploi AC-3 et AC-4 de la norme IEC 60947-4-1. Ces valeurs peuvent parfois atteindre entre 10 et 15 fois son courant d'emploi nominal.

Si un relais thermique est associé, sa contrainte thermique admissible (I_{cw} ou I^2t) doit être supérieure à celle limitée par le disjoncteur ou le fusible dans les conditions de court-circuit présumées. Au delà de ce seuil, il y a un danger de risque de fusion des bilames qui peut intervenir au-delà d'une certaine intensité.

Pour éviter cette situation, la norme IEC 60947-4-1 définit un seuil minimal de courant que le relais thermique doit supporter, fixé à 13 fois son courant d'emploi, théoriquement supérieure à celle que le contacteur peut supporter.

LES FONCTIONS DU DÉPART MOTEUR

Déconnexion et protection contre les courts-circuits :

- Ouverture du circuit, sectionnement,
- Protection magnétique de la ligne et de du récepteur contre les surintensités de courts-circuits (courbe D par exemple).

Commande :

- Mise en marche du récepteur,
- Extinction du récepteur.

Protection thermique :

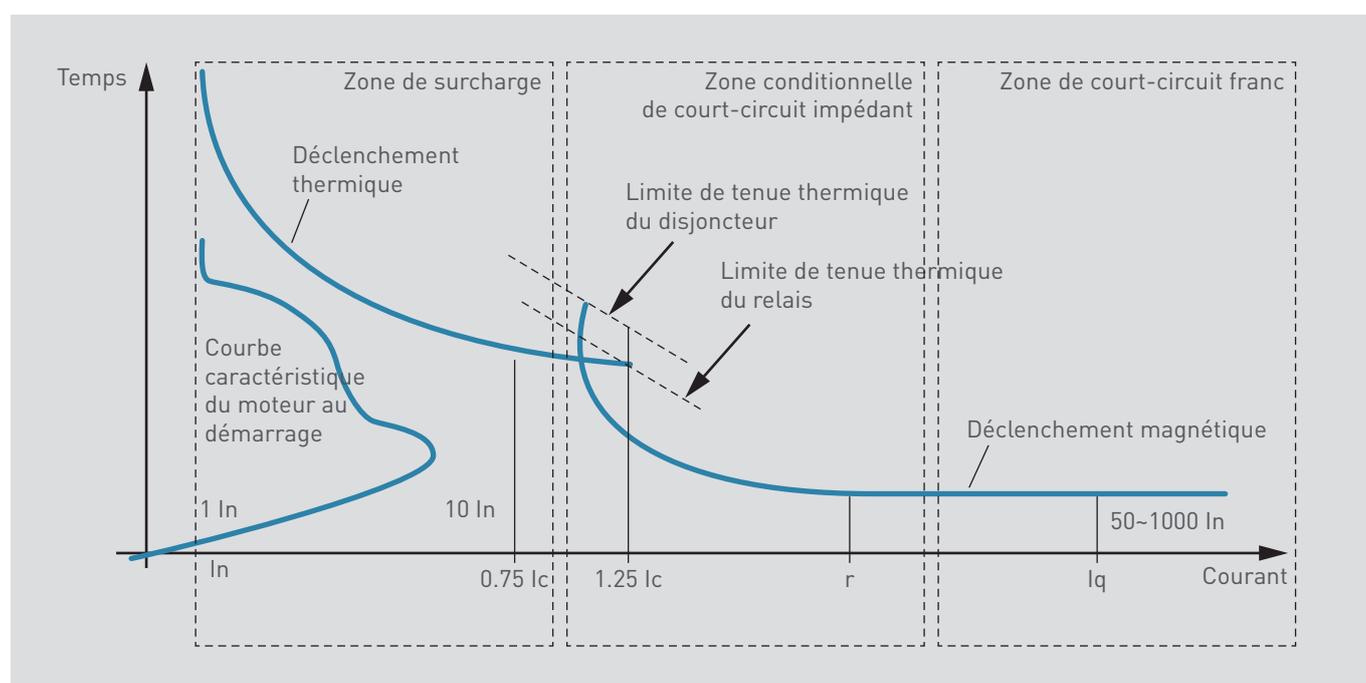
- Protection du récepteur contre les surintensités de longue durée (surcharges),
- Protection additionnelle en cas de défaillance du moteur.

Une surintensité inférieure à $10 I_n$ peut être occasionnée en cas de fort déséquilibre entre les phases, ou de perte de l'une d'entre elles, ou encore en cas de temps de démarrage anormalement long (couple résistant excessif).

Une surintensité comprise entre 10 et $50 I_n$ est généralement liée à une rupture des isolants du moteur.

Une surintensité supérieure à $50 I_n$ est le plus souvent liée à un court circuit entre phases, d'origine accidentelle (opération de maintenance par exemple).

La norme IEC60947-4-1 impose plusieurs essais de courant de défaut pour établir la coordination de type 2.



LES FONCTIONS DU DÉPART MOTEUR (SUITE)

Dans la zone de surcharge, le relais thermique doit protéger le disjoncteur magnétique. Sa courbe de limitation en contrainte thermique doit être en dessous de celle du disjoncteur et des conducteurs associés.

Dans la zone de court-circuit franc, a contrario, c'est le disjoncteur qui protège le relais thermique. La valeur du courant s'établit selon les caractéristiques du circuit d'alimentation (puissance, impédance amont, section des conducteurs, etc.).

Dans la zone conditionnelle de court-circuit impédant, l'adéquation entre les dispositifs de protection doit particulièrement être étudiée. Elle est au croisement des surcharges de longue durée et des courts-circuits de faible valeur. L'évolution d'un défaut interne au moteur peut suivre un processus allant de la surcharge au court-circuit, selon la destruction progressive des isolants. Pour que le contacteur soit protégé, sa limite en contrainte thermique doit être supérieure aux courbes de limitation des protections thermiques.

COURANT NOMINAL DU MOTEUR (AC-3)	COURANT PRÉSUMÉ
$I_e \leq 16$	1
$16 < I_e \leq 63$	3
$63 < I_e \leq 125$	5
$125 < I_e \leq 315$	10
$315 < I_e \leq 630$	18



Courant établi et coupé $I_c < \text{surcharge}$ ($I < 10 I_n$)

Le relais thermique assure la protection contre la surintensité I_c . Jusqu'à $0.75 I_c$, seule la protection thermique doit agir. A partir de $1.25 I_c$, seule la protection magnétique doit agir.

Essai au courant présumé "r"

L'objectif de cet essai est de simuler la rupture de l'isolant. Ce test est effectué afin de vérifier que l'appareil de protection joue pleinement son rôle en cas de court circuit. Après ce test, il ne doit y avoir aucun changement dans les caractéristiques techniques du contacteur ou du démarreur. Le DPCC doit s'ouvrir en moins de 10 ms au-delà d'un courant supérieur à $15 \times I_n$.

Courant I_q court circuit $I > 50 I_n$

Ce type de défaut est relativement rare. Il peut arriver en cas d'erreur de connexion des phases lors d'une opération de maintenance. La protection magnétique est assurée par un DPCC, à un niveau de courant de court-circuit conditionnel fixé à $50 \times I_n$ par la norme IEC 60947-4-1. Le courant I_q sert à vérifier la bonne coordination entre les appareils de protection et le contacteur.

LES FONCTIONS DU DÉPART MOTEUR (SUITE)

La norme définit deux types d'essais de laboratoire pour la coordination des équipements de protection et de commande des moteurs.

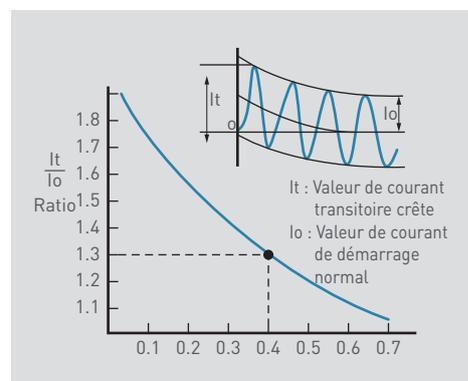
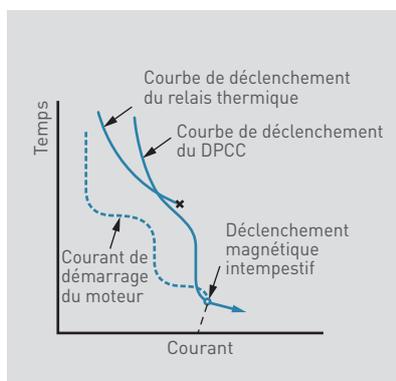
- **La coordination de type 1** accepte une détérioration du contacteur et du relais de protection à la condition que leur état, après essai ne présente aucun risque de sécurité pour les personnes et qu'ils n'aient pas endommagé les autres équipements de l'installation lors de l'essai.
- **La coordination de type 2** accepte une soudure superficielle des contacts du contacteur ou du démarreur à la condition que celle-ci soit réversible. Le contacteur ou le démarreur doivent rester fonctionnels à l'issue de l'essai et ne présenter aucun danger pour les personnes.

L'absence de coordination est à proscrire puisqu'elle implique un risque de mise en danger de la vie des personnes. Le choix du niveau de coordination se fera selon des critères liés au coût, à la continuité de service et à la qualification du personnel de maintenance.

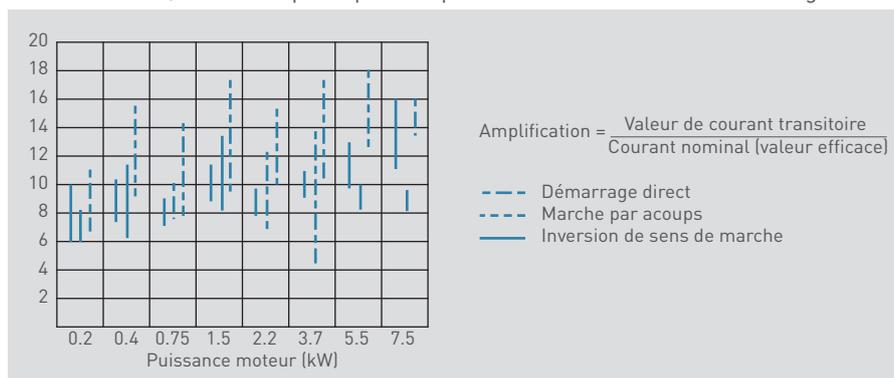
ÉLÉMENTS À PRENDRE EN COMPTE

Durant la phase de démarrage du moteur, il y a un risque de déclenchement du DPCC.

Pour un moteur asynchrone triphasé à cage, le courant d'appel est d'environ $7 \times I_n$, mais un courant transitoire se superpose (notamment au tout début du premier demi-cycle). Sa valeur d'amplification varie notamment selon le facteur de puissance, la puissance du moteur et les caractéristiques du réseau.



Pour un facteur de puissance au démarrage de 0,4, le courant d'appel de crête atteint 1,3 fois le courant de crête de démarrage normal ($7 \times I_n \times \text{racine de } 2$). En cas de redémarrage du moteur avant la fin de sa rotation, cette surintensité peut être multipliée par deux. Dans ce cas, elle peut atteindre 2,6 fois le courant de démarrage nominal, en raison du courant résiduel dans le moteur. Cet exemple tiré de mesures réelles, illustre le principe d'amplification du courant de démarrage.



LE DÉPART MOTEUR

LES FONCTIONS DU DÉPART MOTEUR (SUITE)

Afin d'éviter un déclenchement intempestif des appareils de protection, il convient de bien étudier le comportement de ceux-ci par la superposition de leurs courbes de déclenchement.

Quand les appareils sont correctement sélectionnés, les courbes de déclenchement de la protection thermique et de la protection magnétique se rejoignent en un point d'intersection assurant ainsi une continuité de protection quelque soit l'origine du défaut, surcharge ou court-circuit (illustration P. 57).

■ Applications courantes de faible puissance : Disjoncteur moteur et contacteur

MOTEUR STANDARD (400V)		MPX ³		CTX ³
[kW]	[A]	TYPE	COURANT NOMINAL - I _n [A]	TYPE
0.37	1.1	MPX ³ 32S	1.6	CTX ³ 22 - 9 [A]
0.55	1.5	MPX ³ 32S	1.6	
0.75	1.9	MPX ³ 32S	2.5	CTX ³ 22 - 12 [A]
1.1	2.7	MPX ³ 32S	4	CTX ³ 22 - 18 [A]
1.5	3.6	MPX ³ 32S	4	
2.2	5.2	MPX ³ 32S	6	
3	6.8	MPX ³ 32S	8	
4	9	MPX ³ 32S	10	
5.5	11.5	MPX ³ 32H	13	CTX ³ 22 - 22 [A]
7.5	15.5	MPX ³ 32H	17	
10	20	MPX ³ 32H	22	CTX ³ 40 - 32 [A]
11	22	MPX ³ 32H	26	
15	29	MPX ³ 32H	32	
18.5	35	MPX ³ 63H	40	CTX ³ 40 - 40 [A]
22	41	MPX ³ 63H	50	CTX ³ 65 - 50 [A]
30	55	MPX ³ 63H	63	CTX ³ 65 - 65 [A]
37	67	MPX ³ 100H	75	CTX ³ 100 - 75 [A]
45	80	MPX ³ 100H	100	CTX ³ 100 - 85 [A]

Coordination de type 2 selon IEC 60947-4-1, I_p = 50 kA, fréquence = 50/60 Hz

■ Applications courantes de forte puissance : Disjoncteur boîtier moulé, contacteur et relais thermique

MOTEUR		DISJONCTEUR				CONTACTEUR	RELAIS THERMIQUE		
PUISSANCE NOMINALE (kW)	COURANT NOMINAL (A)	TYPE	COURANT NOMINAL (A)	SEUIL MAGNÉTIQUE (A)	RÉF.	TYPE	TYPE	PLAGE DE RÉGLAGE (A)	RÉF.
15	29	DPX ³ 160	40	140-400	4 201 22	CTX ³ 65 50A	RTX ³ 65	24-36	4 166 87 4 167 07
16	31	DPX ³ 160	40	140-400	4 201 22	CTX ³ 65 50A	RTX ³ 65	24-36	4 166 87 4 167 07
18.5	35	DPX ³ 160	40	140-400	4 201 22	CTX ³ 65 50A	RTX ³ 65	28-40	4 166 88 4 167 08
20	38	DPX ³ 160	40	140-400	4 201 22	CTX ³ 65 50A	RTX ³ 65	34-50	4 166 89 4 167 09
22	41	DPX ³ 160	63	220-630	4 201 23	CTX ³ 65 65A	RTX ³ 65	34-50	4 166 89 4 167 09
25	47	DPX ³ 160	63	220-630	4 201 23	CTX ³ 100 85A	RTX ³ 100	34-50	4 167 26 /46
30	57	DPX ³ 160	63	220-630	4 201 23	CTX ³ 100 100A	RTX ³ 100	45-54	4 167 27 /47
31.5	59	DPX ³ 160	63	220-630	4 201 23	CTX ³ 100 100A	RTX ³ 100	54-75	4 167 28 /48
37	68	DPX ³ 250	100	350-1000	4 206 05	CTX ³ 100 100A	RTX ³ 100	63-85	4 167 29 /49
40	74	DPX ³ 250	100	350-1000	4 206 05	CTX ³ 150 130A	RTX ³ 100	63-85	4 167 62 /72
45	82	DPX ³ 250	100	350-1000	4 206 05	CTX ³ 150 130A	RTX ³ 150	63-85	4 167 62 /72
50	92	DPX ³ 250	100	350-1000	4 206 05	CTX ³ 150 130A	RTX ³ 150	80-105	4 167 63 /73
55	102	DPX ³ 250	100	350-1000	4 206 05	CTX ³ 150 150A	RTX ³ 150	95-130	4 167 64 /74
63	115	DPX ³ 250	160	560-1600	4 206 07	CTX ³ 150 150A	RTX ³ 150	95-130	4 167 64 /74



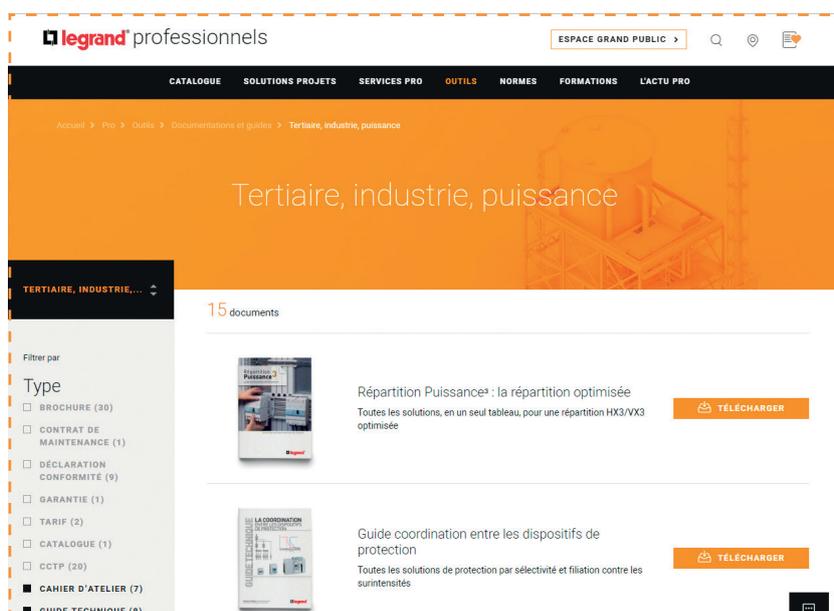
Pour plus d'informations, vous pouvez vous référer aux fiches techniques

Pour en savoir plus, RDV sur **legrand.fr**

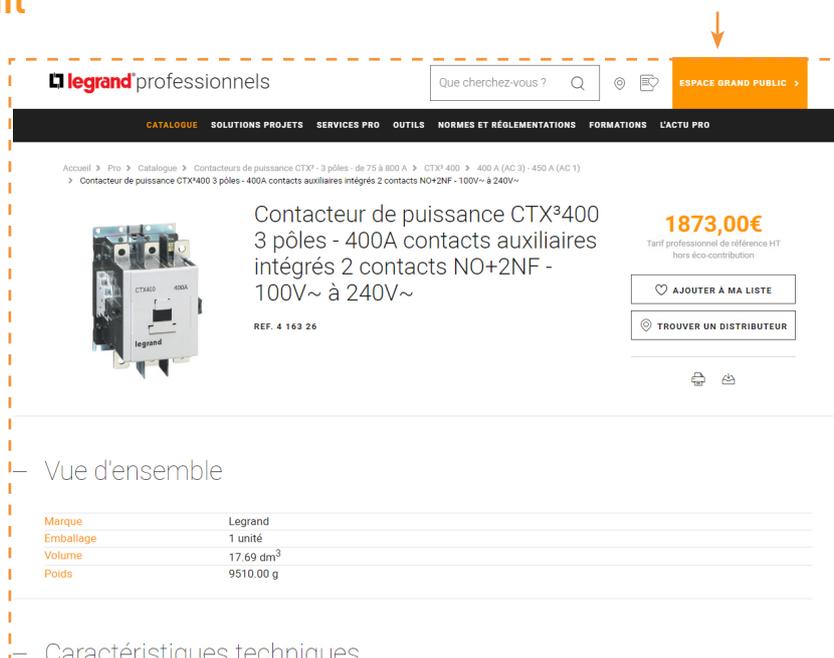


D'autres cahiers et guides, ainsi que toutes les informations techniques des produits référencés sont disponibles sur : www.legrand.fr

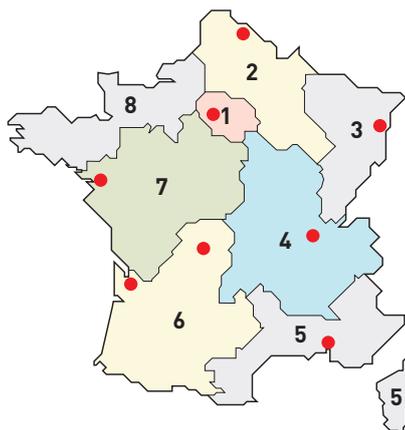
>Espace Pro >Outils >documentations et guides >Tertiaire, industrie, puissance



>Espace Pro >cliquer sur la loupe  >saisir la référence recherchée pour afficher sa fiche produit"



DIRECTIONS RÉGIONALES



● Centres Innoval

1 - DIRECTION RÉGIONALE ÎLE DE FRANCE

BP 37, 82 rue Robespierre - 93170 Bagnolet

Départements : 75 - 77 - 78 - 91 - 92 - 93 - 94 - 95

☎ : 01 49 72 52 00

✉ : fr-dr-paris@legrand.fr

2 - DIRECTION RÉGIONALE NORD

12A avenue de l'Horizon
59650 Villeneuve d'Ascq

Départements : 02 - 08 - 10 - 51 - 52 - 59 - 60 - 62 - 80

☎ : 0 805 129 129

✉ : fr-dr-lille@legrand.fr

3 - DIRECTION RÉGIONALE EST

Nouvelle adresse

290 avenue de Colmar
67000 Strasbourg

Départements : 25 - 39 - 54 - 55 - 57 - 67 - 68 - 70 - 88 - 90

☎ : 03 88 77 32 32

✉ : fr-dr-strasbourg@legrand.fr

4 - DIRECTION RÉGIONALE RHÔNE-ALPES BOURGOGNE AUVERGNE

8 rue de Lombardie - 69800 Saint-Priest

Départements : 01 - 03 - 07 - 15 - 21 - 26 - 38 - 42 - 43 - 58 - 63 - 69 - 71 - 73 - 74 - 89

☎ : 0 800 715 715

✉ : fr-dr-lyon@legrand.fr

5 - DIRECTION RÉGIONALE MÉDITERRANÉE

Le Campus Arterparc - Bâtiment C
595 Rue Pierre Berthier
13591 Aix en Provence Cedex 3

Départements : 2A - 2B - 04 - 05 - 06 - 11 - 13 - 30 - 34 - 48 - 66 - 83 - 84 - Monaco

☎ : 0 800 730 800

✉ : fr-dr-aix-en-provence@legrand.fr

6 - DIRECTION RÉGIONALE SUD-OUEST

73 rue de la Morandière
33185 Le Haillan

Départements : 09 - 12 - 19 - 23 - 24 - 31 - 32 - 33 - 40 - 46 - 47 - 64 - 65 - 81 - 82 - 87

☎ : 0 805 121 121

✉ : fr-dr-bordeaux@legrand.fr

7 - DIRECTION RÉGIONALE ATLANTIQUE VAL DE LOIRE

Technoparc de l'Aubinière
14 impasse des Jades - Bat L - CS 53863
44338 Nantes Cedex 3

Départements : 16 - 17 - 18 - 28 - 36 - 37 - 41 - 44 - 45 - 49 - 53 - 72 - 79 - 85 - 86

☎ : 0 805 120 805

✉ : fr-dr-nantes@legrand.fr

8 - DIRECTION RÉGIONALE BRETAGNE NORMANDIE

1 rue du Petit Pré - ZAC des Trois Marches
35132 Vezin-le-Coquet

Départements : 14 - 22 - 27 - 29 - 35 - 50 - 56 - 61 - 76

☎ : 0 800 730 974

✉ : fr-dr-rennes@legrand.fr

FORMATION CLIENTS

Innoval - 87045 Limoges Cedex - France

☎ : 05 55 06 88 30

Relations Enseignement Technique

☎ : 05 55 06 77 58

SERVICE EXPORT

87045 Limoges Cedex - France

☎ : 05 55 06 87 87

Fax : 05 55 06 74 55

✉ : direction-export.limoges@legrand.fr

service Relations Pro

0810 48 48 48

Service 0,05 € / min
* prix appel

du lundi au vendredi 8h à 18h
128 av. de Lattre de Tassigny
87045 Limoges Cedex - France
E-mail : accessible sur legrand.fr

SUIVEZ-NOUS SUR

@ legrand.fr

f facebook.com/LegrandFrance

in linkedin.com/legrandfrance/

ig instagram.com/legrand_france/

yt youtube.com/legrandfrance/

p pinterest.fr/legrandfrance/

legrand

LEGRAND SNC

SNC au capital de 6 938 885 €

RCS Limoges 389 290 586

N° SIRET 389 290 586 000 12

TVA FR 15 389 290 586

Siège social

128, av. du Maréchal-de-Lattre-de-Tassigny
87045 Limoges Cedex - France

☎ : 05 55 06 87 87

Fax : 05 55 06 88 88