

TRANSFORMATEURS BT-BT



La première application du transformateur trouve son origine dans la nécessité de changement de tension dans les réseaux alternatifs. La seconde consiste à isoler les circuits pour des raisons de protection des biens et des personnes.

Aujourd'hui, les milieux industriels et tertiaires, voire domestiques, offrent un immense champ d'applications qui a nécessité le développement de transformateurs de tous types, dans des gammes de puissances très étendues.

Les produits présentent toujours un aspect apparemment simple, et se ressemblent tous : il est alors important de comprendre les différents types et les caractéristiques associées pour réaliser le bon choix.

Ce guide traite d'une part les transformateurs pour application commande-Contrôle, ou d'équipements, utilisés dans les armoires électriques de commande ou dans des armoires dédiées à un équipement et d'autre part, les transformateurs d'installation basse tension utilisés en interface dans les réseaux de distribution BT de l'industrie et du tertiaire.



INFORMATIONS LÉGALES

Les photos de présentation n'incluent pas toujours les équipements de protection individuelle mais ces derniers relèvent d'une obligation légale et réglementaire qu'il convient de respecter scrupuleusement.

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.



SOMMAIRE

CONSIGNES DE SÉCURITÉ	2
-----------------------------	---

FONCTIONS ET TYPES DE TRANSFORMATEURS

Pourquoi un transformateur ?	4
Principe du transformateur	4

FONCTIONS

L'isolement	5
Changement de tension	6
Fonctions secondaires	7

LES TYPES DE TRANSFORMATEURS

Par niveaux d'isolement	8
Isolement standard	8
Isolement amélioré	8
Par application	9
Transformateurs de commande	9
Transformateurs pour équipement	9
Transformateurs d'installation standard	9
Transformateurs d'installation spécifique (Hospitalier)	9

LES NORMES

Tableau de synthèse	10
---------------------------	----

MISE EN ŒUVRE DES TRANSFORMATEURS

Couplage série-parallèle	12
Protection au primaire et au secondaire	13
Prises de réglage au primaire	14
Tension à vide – tension en charge	15
Courant d'enclenchement	17
Puissance : effet du $\cos \phi$	18
Rendement	19
Pertes d'un transformateur	20
Classe de température	21
Puissance instantanée	21
Déclassement en fonction de la température ambiante	22
Questions diverses	24

DIMENSIONNEMENT DES TRANSFORMATEURS DE COMMANDE ET ÉQUIPEMENT

EXEMPLES D'APPLICATIONS AVEC LES TRANSFORMATEURS

Circuits TBT (rappeler les tensions de sécurité en fonction des conditions d'humidité)	26
1- La très basse tension de sécurité (TBTS)	26
2- La très basse tension de protection (TBTP)	26
3- La très basse tension fonctionnelle (TBTF)	26
Changement de régime de neutre	26

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

Généralités

- Utiliser exclusivement les produits et accessoires préconisés par le groupe Legrand dans le catalogue général, les notices, les fiches techniques et l'ensemble des autres documents mis à disposition par Legrand (ci-après ensemble la « Documentation ») dans le respect des règles d'installation.
- Une installation et/ou une utilisation incorrectes peuvent entraîner des risques d'arc électrique dans l'enveloppe, de sur-échauffement ou d'incendie. Les enveloppes doivent être utilisées dans des conditions normales, c'est-à-dire qu'elles ne doivent pas être soumises à des valeurs de Tension / Courant / Température autres que celles spécifiées dans la Documentation.
- Legrand décline toute responsabilité en cas de modification ou réparation, non autorisée par le groupe Legrand, des équipements composant l'enveloppe, ainsi que tout manquement aux règles et préconisations établies par Legrand dans la Documentation. Par ailleurs, dans les cas visés ci-dessus, la garantie consentie par Legrand ne sera pas applicable.
- Il est nécessaire de vérifier l'adéquation des caractéristiques des produits avec leur environnement et leur utilisation lors des opérations d'entretien, et de vous reporter à la Documentation. Pour toute question ou demande de précision, merci de contacter votre interlocuteur du Groupe Legrand.
- Les opérations d'installation, d'utilisation et d'entretien des enveloppes et des éléments qui les composent doivent être effectuées par du personnel qualifié, formé et habilité, en accord avec les règles en vigueur propres à chaque pays.



RISQUES DE CHOC ÉLECTRIQUES, DE BRÛLURES ET D'EXPLOSION.

- Les personnes intervenant sur l'installation doivent avoir les habilitations électriques adéquates aux travaux à réaliser.
- Porter les EPI (Équipements de Protection Individuelle) nécessaires aux interventions sur des produits sous tension.
- Respecter les règles de sécurité liées aux travaux électriques.
- Un usage électrique et mécanique inapproprié des équipements peut être dangereux et risqué et peut entraîner des blessures corporelles ou dégâts matériels.
- En fonction des opérations d'entretien à réaliser, des coupures d'alimentation partielles ou totales de l'enveloppe dans laquelle l'intervention sera réalisée sont à prévoir avant d'intervenir sur celle-ci.
- Lors d'opérations qui impliquent l'accès à l'intérieur de l'enveloppe, prendre garde aux risques de brûlure avant de toucher les produits ainsi que les parties métalliques.
- Avant de remettre sous tension, vérifier l'absence de tout corps étranger et s'assurer que toutes les protections physiques ont été remises en place (exemples : écrans, capotages, plastrons).

Tout manquement à la stricte application des procédures et au non-respect de ces recommandations, pourra faire encourir à l'intervenant des risques d'accidents graves, mettant en danger les personnes et les biens (notamment, sans limitation, risques de brûlures, de chocs électriques...).



Les règles et recommandations de ce document sont basées sur notre connaissance des conditions typiques d'utilisation de nos produits dans les domaines d'application usuellement rencontrés. Cependant, il incombe toujours au client de vérifier et valider que les produits de Legrand sont adaptés à son installation et à son usage.

Le client doit s'assurer des bonnes pratiques d'installation, de maintenance et d'exploitation du matériel pour éviter tout risque de blessure du personnel ou dégât matériel en cas de défaillance du produit, en particulier pour les applications qui requièrent un niveau de sécurité très élevé (à titre d'exemple, celles dans lesquelles la défaillance d'un composant peut mettre en danger la vie des personnes ou leur santé).

Les règles de stockage, manutention, installation, maintenance ainsi que les précautions et avertissements adéquats doivent être strictement observés et appliqués.

FONCTIONS ET TYPES DE TRANSFORMATEURS

POURQUOI UN TRANSFORMATEUR ?

Le transformateur permet de transférer l'énergie électrique d'un circuit primaire vers un circuit secondaire via un champ magnétique.

Cela permet de créer un circuit secondaire avec des caractéristiques et fonctions attendues, et notamment 2 fonctions principales :

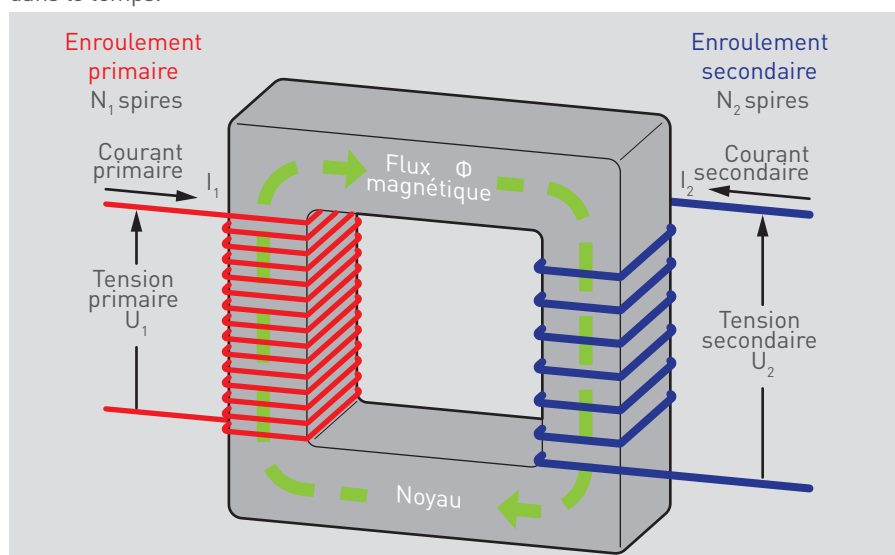
- L'isolement
- Le changement de tension

Ces 2 fonctions peuvent être combinées (par ex. transformateur d'isolement primaire 230V/secondaire 24V), bien que bon nombre d'applications ne nécessitent que celle d'isolement (par ex. primaire 230V/secondaire 230V).

PRINCIPE DU TRANSFORMATEUR

Le transformateur est composé d'un enroulement dit primaire et d'un enroulement dit secondaire.

Un générateur variable connecté à l'enroulement primaire provoque un courant circulant dans les spires de cet enroulement, ce qui crée un champ magnétique variable dans le temps.

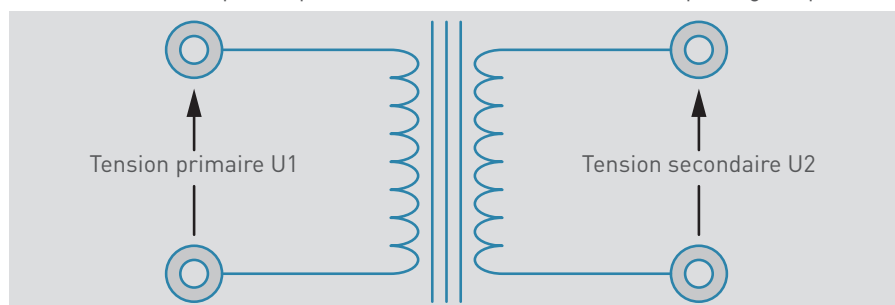


Ce champ magnétique, canalisé par un noyau ferromagnétique, traverse l'enroulement secondaire. Ainsi, chaque spire de l'enroulement secondaire crée à son tour une nouvelle tension induite (force contre-électromotrice).

Ce circuit secondaire permet alors de fournir à nouveau une tension et une puissance donnée. Le transfert de l'énergie électrique du circuit primaire au circuit secondaire est ainsi réalisé grâce à l'énergie magnétique, ce qui permet « d'isoler » électriquement ce circuit secondaire.

Le changement de tension est lié au rapport du nombre de spires des enroulements secondaire et primaire.

L'isolement est schématisé par l'espace entre circuit primaire et secondaire, et sur le schéma ci-dessous, par l'espace entre les enroulements et le corps magnétique.



FONCTIONS

L'isolement

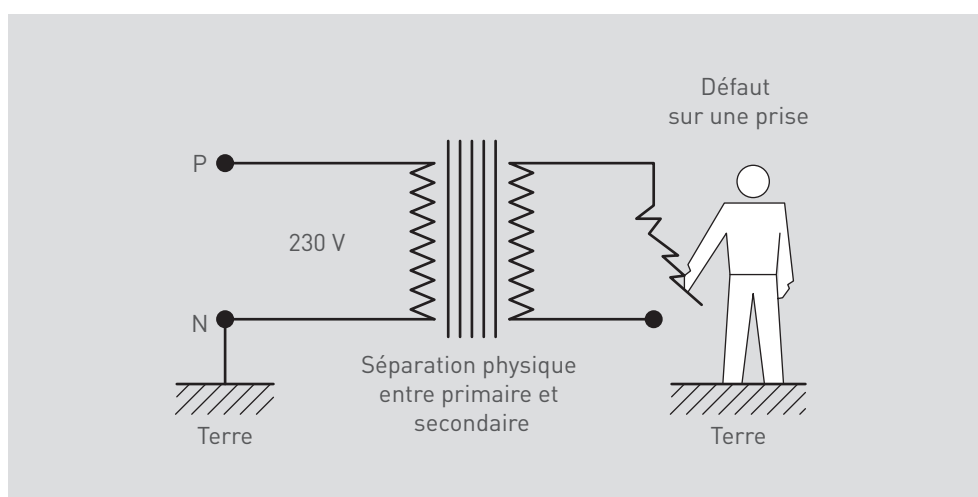
L'isolement exige une séparation physique entre circuit primaire et circuit secondaire, ce qui sera réalisé par des composants isolants et/ou une distance dans l'air entre éléments conducteurs, et entre éléments conducteurs et les masses.

Cette fonction permet la protection des personnes contre les contacts indirects :

- La puissance électrique mise à disposition dans les bâtiments a toujours un de ses pôles qui est relié à la terre (le neutre). Ainsi, en régime TT par exemple, si une phase touche accidentellement des parties conductrices accessibles (corps de machine), tout contact avec cette partie métallique va offrir un bouclage possible avec la terre en traversant le corps, et devient alors dangereuse → L'utilisation d'interrupteurs ou disjoncteurs différentiels est alors obligatoire.

Grâce à l'isolement du circuit secondaire, cette même situation de défaut ne permettra pas de bouclage avec la terre, et donc il n'y aura pas de différence de potentiel ressentie par la personne : on dit dans ce cas que le circuit secondaire est « flottant », et ne sera pas dangereux, tout cela même avec des tensions supérieures à 50 V.

Selon les normes, cette aptitude à la sécurité des personnes sans dispositif complémentaire n'est possible que s'il s'agit d'une isolation renforcée ou double isolation (voir chapitre « Les types de transformateurs »).

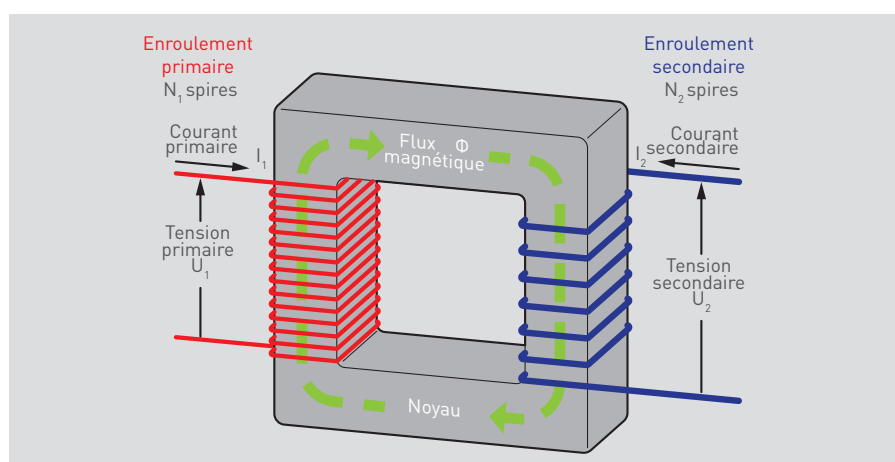


Changement de tension

La relation $U_2/U_1 = N_2/N_1$ définit le changement de tension obtenu.

U_1 et U_2 sont les tensions primaire et secondaire, N_1 et N_2 représentent le nombre de spires au primaire et au secondaire.

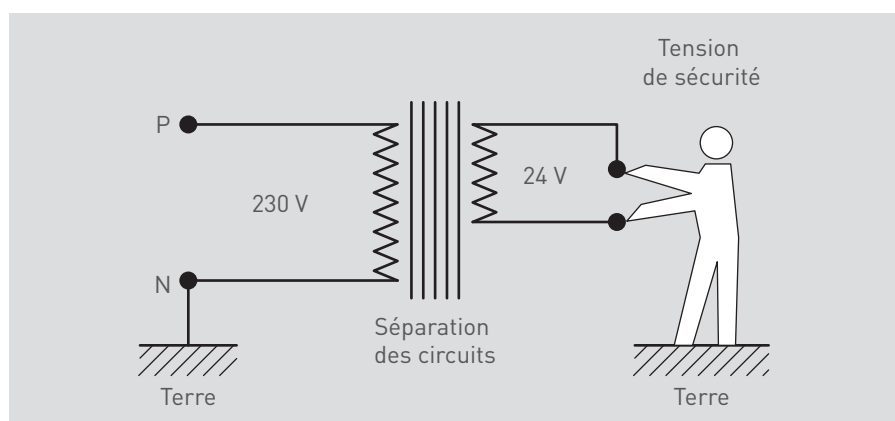
Cette fonction permet soit d'adapter la tension de l'installation à la tension admise par les équipements (400 V $\rightarrow$ 230 V ou vice versa, voire autres tensions), mais aussi d'abaisser la tension à des niveaux non dangereux : on parle dans ce dernier cas de très basse tension (TBT : < 50 V AC).



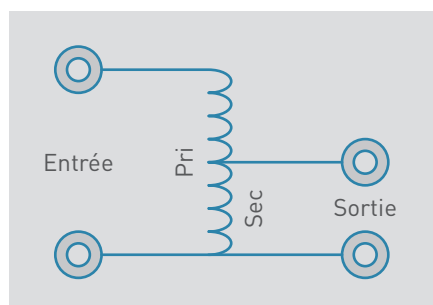
Dans ce dernier cas de tensions très basses, le transformateur permet une protection directe des personnes (contact avec les 2 pôles du secondaire non dangereux).

Selon la réglementation, cette aptitude est vérifiée sans équipement additionnel si l'installation satisfait aux exigences Très basse tension de sécurité (TBTS : voir page 25).

La combinaison de la fonction isolement et TBT offre un haut niveau de sécurité pour les personnes.



L'autotransformateur est le plus simple pour changer de tension, mais il n'assure aucune sécurité car il ne comporte pas d'isolement électrique entre circuit d'alimentation et circuit d'utilisation (1 seul enroulement pour la connexion du primaire et du secondaire). Il s'avère toutefois une solution économique en cas de changement de tension uniquement.



Fonctions secondaires

FILTRAGE DES PERTURBATIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Un transformateur d'isolement standard offre un minimum d'aptitudes au filtrage des perturbations électromagnétiques.

Toutefois, pour accroître cette aptitude, il est possible d'intercaler un écran électrostatique entre les enroulements primaire et secondaire, qui pourra être relié à la terre.

Son efficacité est dépendante de la capacité primaire/secondaire, elle-même dépendante de la topologie de construction du transformateur. Plus la capacité est réduite, plus le transformateur affaiblira efficacement la propagation des perturbations entre primaire et secondaire.

Le filtrage des perturbations trouve des applications dans les Grandes Surfaces commerciales par exemple, afin de supprimer les harmoniques de rang 3 émises par l'éclairage fluorescent.

Dans le secteur hospitalier, pour isoler le bâtiment principal des parasites générés dans d'autres secteurs : balnéothérapie, rayonnements ionisants... dans l'industrie, lorsqu'il faut isoler des sites sensibles, tels que locaux informatiques, laboratoires de mesures, machines pilotées par informatique, etc.

LES TYPES DE TRANSFORMATEURS

Par niveau d'isolement

Pour les transformateurs, il existe différents niveaux d'isolements.

L'ISOLEMENT STANDARD

Il est constitué d'une séparation enroulements-enroulements et enroulements-masse avec des épaisseurs d'isolants ou des distances suffisantes pour respecter les exigences minimales d'isolement. Un transformateur à isolement standard ne peut pas prétendre à la sécurité des personnes sans équipements additionnels.

Cet isolement est également appelé isolation principale.

L'ISOLEMENT AMÉLIORÉ

Il peut être de 2 types :

■ Isolation renforcée

Constituée d'une épaisseur d'isolant supérieure (isolants en feuille et/ou air), entre les circuits primaire et secondaire.

■ Double isolation

Constituée de l'isolation principale complétée par une isolation supplémentaire. Cela est principalement utilisé pour l'isolation entre primaire et secondaire via une masse métallique => Ex : Isolation principale entre primaire et la masse métallique et isolation supplémentaire entre la masse métallique et le secondaire (la masse métallique étant souvent le corps magnétique).

D'un point de vue normatif, seuls les transformateurs répondant à cette dernière catégorie peuvent prétendre à assurer la protection indirecte des personnes sans dispositifs supplémentaires.

	APPELLATION	NORMES		SYMBOLE
		RÉFÉRENCE NORME	TYPE D'ISOLATION	
ISOLEMENT STANDARD	Transformateurs d'isolement Transformateurs de commande	IEC/EN 60076-11 IEC/EN 61558-2-2	Isolation principale	 
ISOLEMENT AMÉLIORÉ	Transformateurs de séparation des circuits Transformateur de sécurité	IEC/EN 61558-2-4 /2-6/2-8/2-5/2-15	Isolation renforcée Isolation principale + isolation supplémentaire : double isolation	Une barre « --- » entre les 2 ronds est ajoutée   

Par applications

TRANSFORMATEURS DE COMMANDE

Ces transformateurs répondent aux exigences de type commande de contacteurs, relais... Les caractéristiques minimales sont couvertes par la norme IEC / EN 61558-2-2, avec par exemple une chute de tension maximale, l'indication de la puissance instantanée admissible.

Pour la gamme Legrand, ces transformateurs répondent aussi aux normes « séparation des circuits » IEC / EN 61558-2-4 pour les secondaires supérieurs à 50V ou « sécurité »

IEC / EN 61558-2-6 pour les secondaires inférieurs à 50 V.

TRANSFORMATEURS POUR ÉQUIPEMENT

Ces transformateurs n'ont pas le besoin de conformité à la norme « commande » IEC / EN 61558-2-2, et sont particulièrement adaptés pour intégrer une armoire spécifique et souvent physiquement liés à un équipement.

TRANSFORMATEURS D'INSTALLATION STANDARD :

Il s'agit de transformateurs d'isolement simple. Ils sont conformes à l'IEC / EN 60076-11.

Ce type de transformateur est adapté pour les besoins de changement de tension ou de régime de neutre ne nécessitant pas d'isolation renforcée ou de double isolation. Il faut impérativement ajouter un dispositif de protection des personnes.

TRANSFORMATEURS POUR LOCAUX HOSPITALIERS :

Il s'agit de transformateurs de séparation des circuits spécifiques. En plus de répondre à l'IEC / EN 61558-2-4, ils sont aussi conformes à l'IEC / EN 61558-2-15 qui exige notamment une limitation de courant de fuite secondaire / terre à 0.5mA à vide, une limitation du courant d'appel, la présence d'écran électrostatique, la présence d'éléments permettant la surveillance de température.

LES NORMES

Le transformateur n'échappe pas à la standardisation, donc aux normes.

Aujourd'hui, un seul document, L'IEC 61 558, met tout à plat et prend en compte la majorité des cas d'application.

LES ÉVOLUTIONS EN MATIÈRE DE NORMES

Les publications sont désormais regroupées en un seul document : l'IEC 61 558. Il comprend deux sections, ce qui le rend plus facile à exploiter.

La section 1 pour les règles générales.

La section 2 qui fournit à l'utilisateur les indications lui permettant de respecter les contraintes réglementaires ou les exigences normatives. La section 2 est elle-même divisée en plusieurs parties, dont trois au moins concernent notre sujet :

- Partie 2.2 : transformateurs de commande.
- Partie 2.4 : transformateurs de séparation de circuits pour usage général.
- Partie 2.6 : transformateurs de sécurité pour usage général.
- Partie 2.15 : transformateurs pour milieu hospitalier.

Les normes de transformateurs sont repérées par des symboles, eux-mêmes normalisés.

LES AUTRES NORMES QUI RÉGISSENT LES TRANSFORMATEURS

- **IEC 60 076-11**
pour les transformateurs de puissance de type sec.
- **UL 5085**
pour les transformateurs à usage général, incluant les transformateurs de commande.
- **CSA C 22.2 n°66**
idem précédente.
- **UL 60 950**
CAN/CSA C 22.2 n°60 950.00
IEC 60 950/EN 60 950
précisant les règles de sécurité de traitement des matériels de l'information.
- **IEC 1204/EN 61 204**
elle expose les caractéristiques de fonctionnement et les prescriptions de sécurité visant les dispositifs d'alimentation à basse tension avec sortie à courant continu.
- **NF EN 61 131.2**
elle régit les automates programmables, les spécifications d'essais des équipements et en particulier les valeurs d'alimentation, en alternatif et en continu, des unités centrales.

NORMES TRANSFORMATEURS

Il existe différentes normes traitant des transformateurs. La norme applicable est déterminée par la ou les fonctions du transformateur. Ces fonctions sont les suivantes :

■ Changement de tension avec :



Transformateur d'isolement (isolation principale entre primaire et secondaire).



Autotransformateur (pas d'isolation entre primaire et secondaire).

■ Alimentation de circuit de commande avec :



Transformateur de commande (isolation principale entre primaire et secondaire).

■ Protection contre les chocs électriques

Protection contre les contacts directs et les contacts indirects avec :



Transformateurs de sécurité (isolation renforcée entre primaire et secondaire, tension à vide < 50 V).

Protection contre les contacts indirects avec :



Transformateurs de séparation des circuits (isolation renforcée entre primaire et secondaire).



Transformateurs de séparation des circuits pour locaux à usage médical.

Là où les fonctions du transformateur peuvent, soit être déterminées par le concepteur de l'équipement, soit être imposées par les règles d'installation ou la norme de l'équipement. Le domaine des normes applicables aux transformateurs est résumé dans le tableau ci-contre.

■ Définitions :

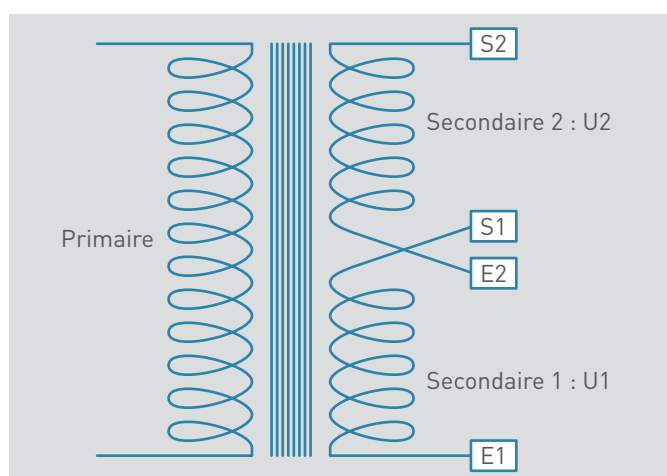
- Chocs électriques : effet physiopathologique résultat du passage du courant à travers le corps humain.
- Contacts directs : contacts de personnes avec des parties actives (sous-tension).
- Contacts indirects : contacts de personnes avec des masses mises accidentellement sous tension par suite d'un défaut d'isolement.

En bref :

Principaux transformateurs utilisés pour la protection contre les chocs électriques	Transformateurs de séparation des circuits (monophasés et triphasés) EN 61 558-2-4
	Transformateurs de sécurité (monophasés et triphasés) EN 61 558-2-6
Principaux transformateurs utilisés pour des raisons fonctionnelles	Transformateurs de commande EN 61 558-2-2
	Transformateurs pour locaux milieu hospitalier EN 61 558-2-15
	Transformateurs d'isolement EN 60 076-11

MISE EN ŒUVRE DES TRANSFORMATEURS

Couplage série-parallèle

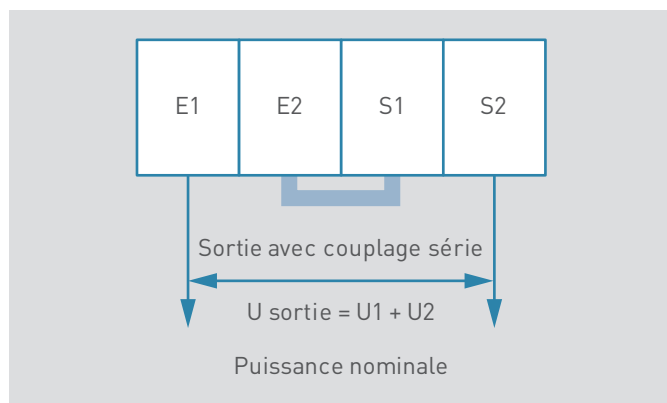


Les tensions du secondaire U1 et U2 doivent être égales pour le couplage en parallèle

COUPLAGE SÉRIE

Barrette de couplage entre les bornes E2 et S1, tension d'utilisation entre les bornes E1 et S2 :

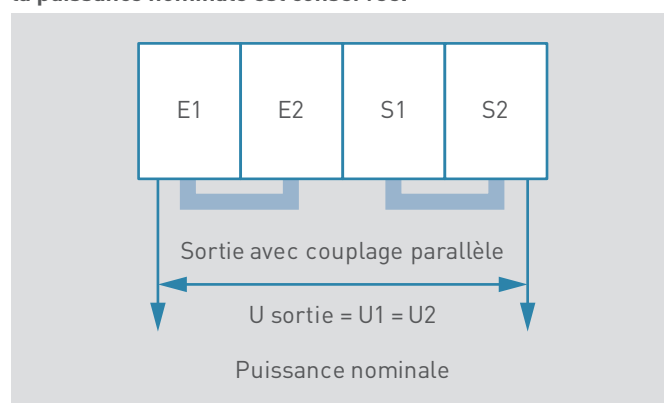
La tension obtenue est la somme des tensions des 2 enroulements, la puissance nominale est conservée.



COUPLAGE PARALLÈLE

Barrette de couplage entre les bornes E1 et E2, et barrette de couplage entre les bornes S1 et S2 : tension d'utilisation entre les bornes E1 et S2 :

La tension obtenue est la tension de chaque enroulement, la puissance nominale est conservée.



Certains transformateurs sont livrés avec une barrette de couplage supplémentaire. Celle-ci est fournie pour le besoin de certaines installations nécessitant la liaison entre le secondaire et la masse.



Attention, cette barrette ne doit jamais être montée entre les bornes du primaire du transformateur.

Protection des lignes d'alimentation du transformateur

Le transformateur est un appareil qui ne peut pas générer de surcharges. Sa ligne d'alimentation nécessite une protection contre les courts-circuits uniquement. La protection contre les courts-circuits est obligatoire dans tous les cas d'installation et doit être installée en tête de ligne.

Lors de la mise sous tension d'un transformateur, il peut y avoir saturation du circuit magnétique, en fonction de l'endroit où se trouve la sinusoïde d'alimentation à l'enclenchement. Cette saturation donne lieu à des surintensités importantes, pouvant atteindre 25 fois le courant nominal, décroissant pendant 4 à 5 périodes (10ms environ).

Pour éviter tout problème de déclenchement de protection, prévoir coté primaire une protection retardée, par fusible de type aM ou par disjoncteur de type D.

Protection des transformateurs

Conformément aux normes IEC/EN 61558, les transformateurs doivent être protégés au secondaire contre les surcharges et les courts-circuits. En l'absence d'imposition normative, c'est le constructeur qui choisit l'emplacement et la nature du dispositif de protection. Legrand préconise la protection au secondaire. Le calibre, le type et l'emplacement du dispositif de protection figurent en face avant des appareils.

Protection des lignes d'utilisation (après secondaire du transformateur)

Cette ligne doit être protégée contre :

- Les surcharges : vérifier que le calibre de la protection choisie est inférieur ou égal au courant secondaire du transformateur.
- Les courts-circuits : vérifier qu'un court-circuit au point le plus éloigné de la ligne assurera le déclenchement du dispositif de protection en moins de 5 secondes (NF C 15-100, paragraphe 434).

Dans le cas où le transformateur n'alimente qu'une ligne d'utilisation, et sous réserve que les calculs aient montré une parfaite compatibilité, la protection du transformateur (au secondaire) et la protection de la ligne peuvent être confondues. Un seul dispositif de protection assure ainsi les deux fonctions.

Dans le cas où le transformateur alimente plusieurs lignes d'utilisation, les calculs de surcharges et de courts-circuits doivent être réalisés individuellement pour chaque ligne.

Prises de réglage au primaire

Certains des transformateurs et alimentations ont des prises de réglage au primaire.

CAS 1

La tension qui arrive aux bornes du primaire du transformateur est différente de 230V ou 400V : voir le schéma ci-dessous pour le câblage.

CAS 2

La puissance d'utilisation est inférieure à la puissance nominale. La chute de tension prévue dans le transformateur n'est alors pas entièrement consommée et la tension au secondaire du transformateur peut alors être un peu trop élevée. Dans ce cas, il faut procéder comme si la tension d'entrée aux bornes du primaire était de 245V (au lieu de 230V) ou de 415V (au lieu de 400V) pour diminuer la tension d'utilisation.

CAS 3

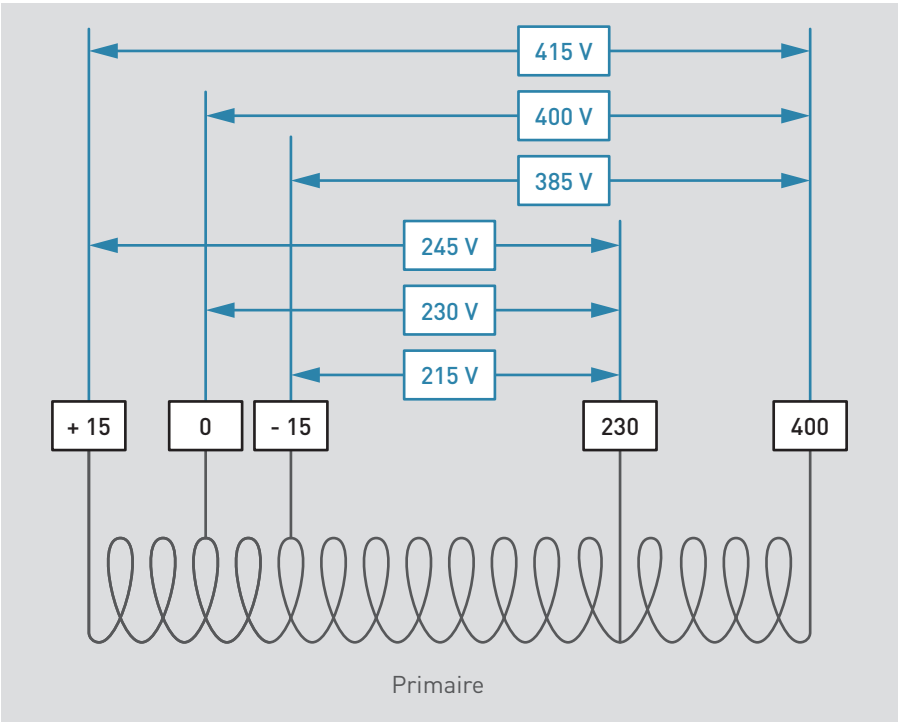
Le courant de sortie, surtout à une valeur élevée, provoque une chute de tension dans les câbles qui alimentent les équipements. Si les câbles sont longs, cette perte peut être préjudiciable au bon fonctionnement des matériels alimentés. Il faudra alors relever un peu la tension d'utilisation. Pour cela, il faudra procéder comme si la tension d'entrée au secondaire était de 215V (au lieu de 230V) ou 385V (au lieu de 400V).

Dans ces 3 cas, on est amené à corriger la tension d'entrée dans le transformateur pour ajuster la tension secondaire.

Tension arrivant au primaire du transformateur

et

utilisation des prises de réglage du bornier du primaire du transformateur



Tension à vide

C'est la tension secondaire obtenue lorsque le transformateur est alimenté à la tension primaire assignée et à la fréquence assignée, sans charge secondaire.

Lorsqu'on met le transformateur en charge, le courant et la résistance des fils de bobinage des enroulements provoquent une chute de tension. Cette chute de tension marque la différence entre la tension à vide et la tension en charge.

La tension en charge correspond à la tension obtenue lorsque le transformateur est chargé à sa puissance nominale. Si le transformateur n'est pas chargé à pleine charge, la chute de tension prévue n'est consommée qu'en partie et la tension en charge du transformateur sera alors plus élevée.

i Remarque : Pour les transformateurs de puissance EN 60076-1, la tension assignée figurant sur le transformateur correspond à la tension à vide. Pour les transformateurs EN 61558, la tension assignée figurant sur le transformateur correspond à la tension en charge.

Un transformateur n'est pas un régulateur de tension.

La chute de tension est exprimée en %.

A ne pas confondre avec Ucc% !! Le Ucc permet de définir la valeur du courant de court-circuit Icc au primaire du transformateur. Permet de vérifier la compatibilité de l'Icc de la ligne avec le pouvoir de coupure du dispositif de protection de la ligne d'alimentation.

(Icc au primaire du transformateur = I_p / U_{cc} – Exemple : courant d'alimentation nominal dans le transfo 100A et

$U_{cc} = 2\% \rightarrow I_{cc} = 5\,000\text{A}$ au primaire du transformateur).

Prenons le cas d'un transformateur réf. 0 427 87.

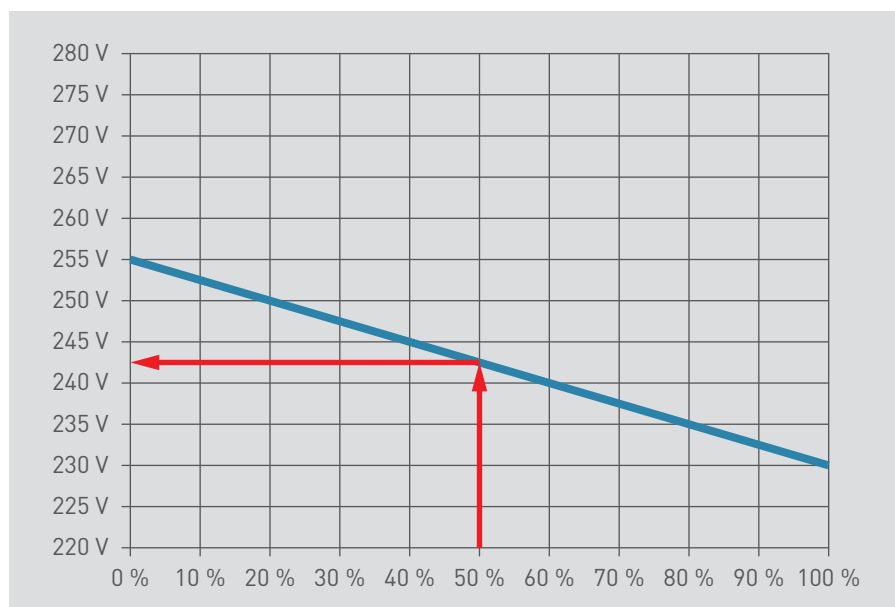
Sa chute de tension annoncée pour cos ϕ 1 est de 10.7% (cf tableau caractéristiques techniques du catalogue).

Ce qui signifie que si la tension primaire est bien de 230V ou de 400V et que le transformateur est chargé à 100% de la puissance nominale (100VA dans notre exemple), on aura :

Tension en charge 230V (+/- tolérances normatives)

Tension à vide : $230\text{V} + 10.7\% = 255\text{V}$

Mais si le transformateur n'est chargé qu'à 50% de la puissance nominale (soit 50VA), alors, la tension secondaire ne sera pas de 230V en charge, mais de 242V.

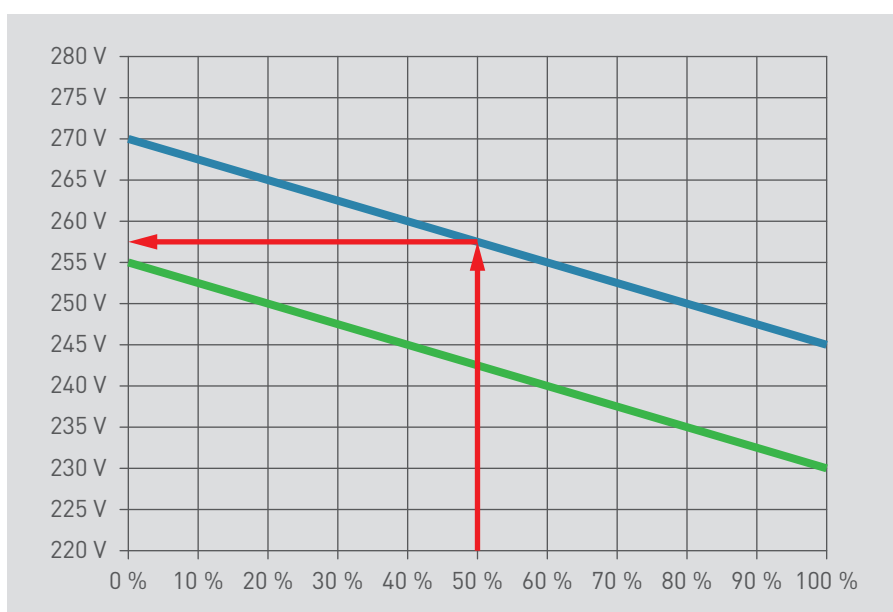


Tension à vide (suite)

Si, en plus, la tension d'entrée n'est pas de 230V, mais plus élevée ; par exemple alimentation en 245V (la tension délivrée par EDF peut être de $230V + 10\% = 253V$), on va augmenter d'autant la tension au secondaire (droite bleue sur le schéma ci-contre), et on aura dans ce cas :

- 245V à 100% de la puissance nominale
- 258V à 50% de la puissance nominale
- 265V à 20% de la puissance nominale
- 270V à vide

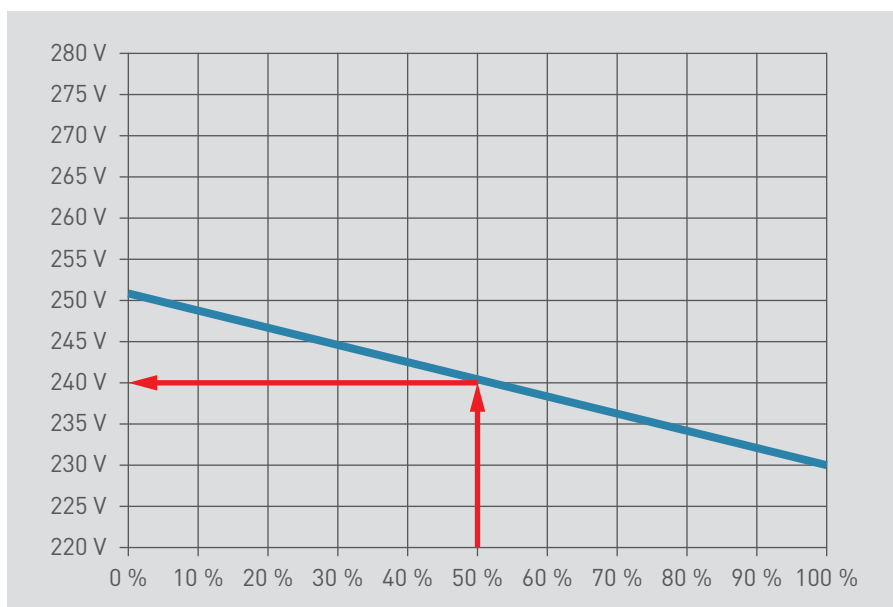
Si l'utilisation de la tension secondaire nécessite une tension plus ajustée (alimentation de relais par exemple), il vaut mieux choisir un transformateur avec des prises de réglage dans la gamme transformateurs de commande et signalisation ou demander un transformateur configuré ajusté au besoin. Ici, on remplace le 0 427 87 par un 0 442 63.



Avec un transfo réf. 0 442 63 pour la même utilisation que dans l'exemple ci-dessus :
Tension d'alimentation 245V entre les bornes +15V et 230V

0 442 63 →

- 230V à 100% de la puissance nominale
- 240V à 50% de la puissance nominale
- 247V à 20% de la puissance nominale
- 251V à vide.



Courant d'enclenchement

La mise sous tension d'un transformateur provoque la magnétisation très rapide du circuit magnétique dans le transformateur. Le courant de magnétisation (ou courant d'enclenchement) peut être très important (jusqu'à 25 In).

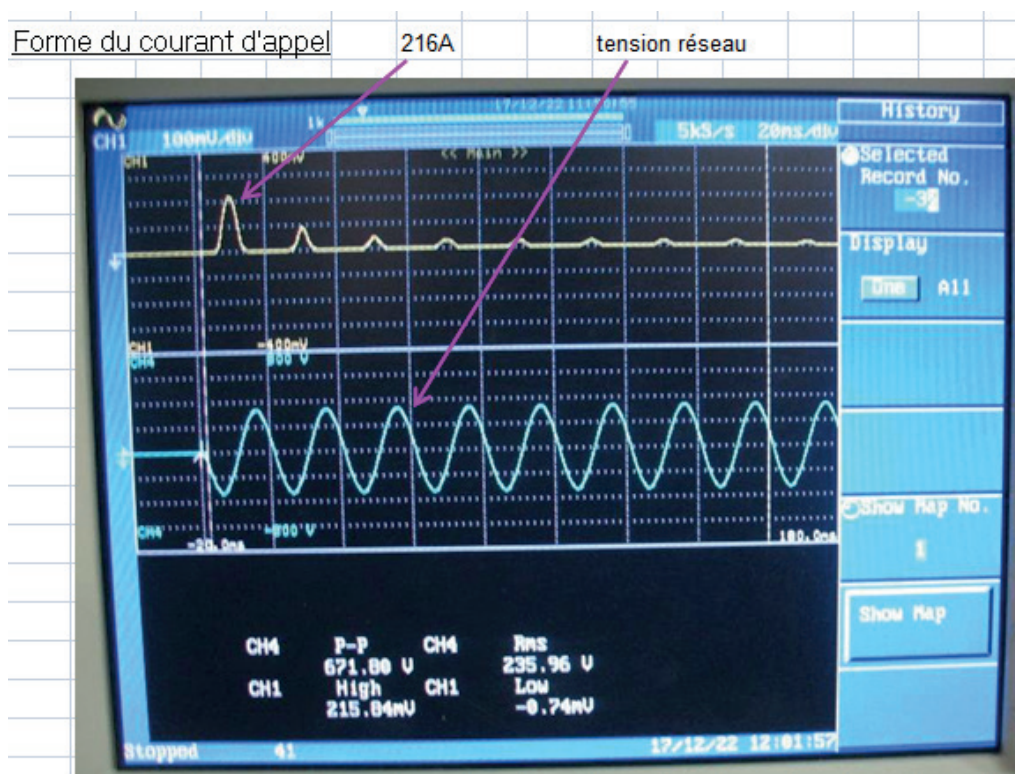
Il s'agit d'un courant transitoire (quelques millisecondes) qui atteint son maximum si le démarrage a lieu lorsque la sinusoïde de la tension passe au « 0 ». L'induction rémanente est alors également à son maximum. Il faut dans ce cas précis, en 1/2 période (10ms), fournir deux fois l'induction nominale.

En conclusion, la valeur des courants d'enclenchement est très aléatoire. Elle dépend de l'instant de la mise sous tension.

Attention, la mise sous tension d'un transformateur est susceptible de créer des perturbations sur le réseau primaire et le réseau secondaire. Sur les réseaux de distribution et les réseaux industriels, les courants d'enclenchements peuvent par exemple créer des déclenchements non justifiés et des à-coups de tension importants».

Relevé au démarrage d'un transformateur 142557 (Monophasé 6.3KVA) avec alimentation en 230V.

(Courant nominal primaire 28,5A)



Puissance : effet du $\cos \varphi$ (P en W)

La tension et l'intensité sont de forme sinusoïdale. Elles peuvent être décalées dans le temps d'un angle φ selon le matériel utilisé, appelé « angle de déphasage »

Ce décalage est dû au fait que la charge est composée d'une partie résistive (résistance), qui correspond à la puissance active du circuit et d'une partie réactive (réactance), qui correspond à la puissance réactive (composante selfique ou/et capacitive).

La tension en fonction du temps s'écrit :

$$u(t) = V \sin(\omega t)$$

L'intensité s'écrit :

$$i(t) = I \sin(\omega t + \varphi) \quad (\varphi \text{ le déphasage en radians})$$

La puissance active s'écrit :

$$P(t) = u(t) \times i(t)$$

Pour s'affranchir de cet effet de déphasage, les puissances annoncées des transformateurs sont des P moyennes (nominale et instantanée admissible), et sont exprimées en VA, et non pas en W, avec comme relation :

Puissance apparente P en VA = $U \times I$

La puissance active P en W = $U \times I \times \cos(\varphi)$ en mono, et = $U \times I \times \sqrt{3} \cos \varphi$ en Triphasé

Les graphes ci-contre montrent ce que devient la puissance active avec des $\cos \varphi$ différents pour :

- Une tension de 12V (12V efficace – crête 17V) et
- Une intensité de 7A (7A efficace – crête 10A).

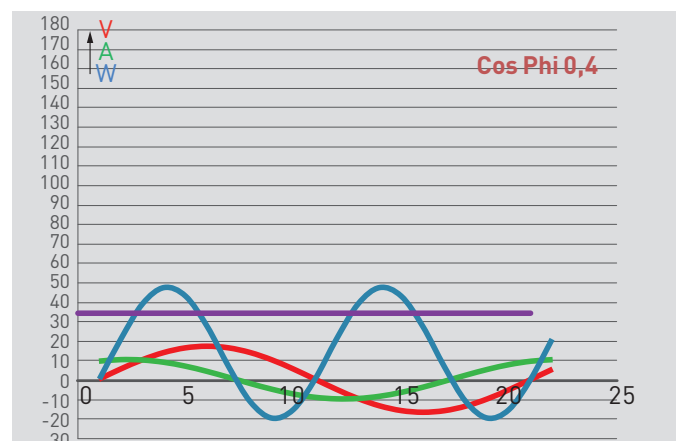
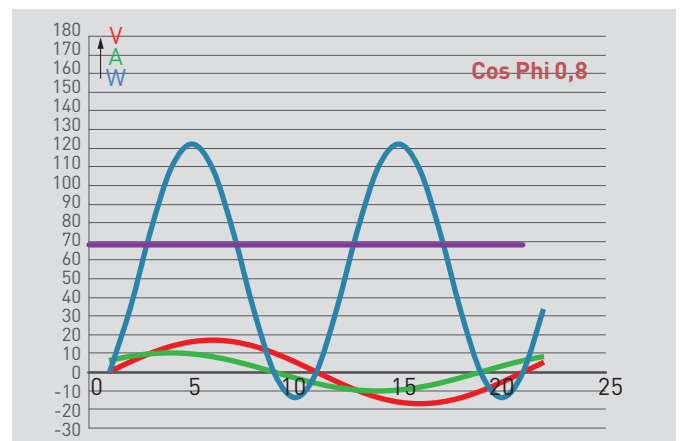
Si l'utilisation derrière le transformateur a un $\cos \varphi$ faible, il faudra prévoir un transformateur de puissance nominale plus élevée pour corriger.

Par exemple, les tubes fluorescents sans compensation ont généralement un $\cos \varphi$ de 0,5. Il faudra diviser la puissance du tube par 0,5 pour définir la puissance du transformateur.

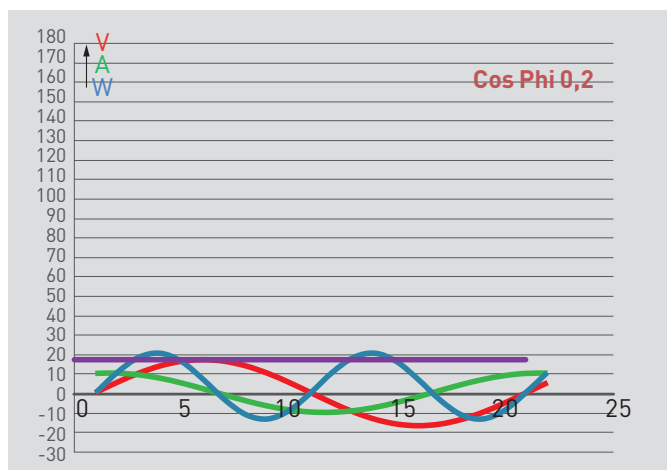
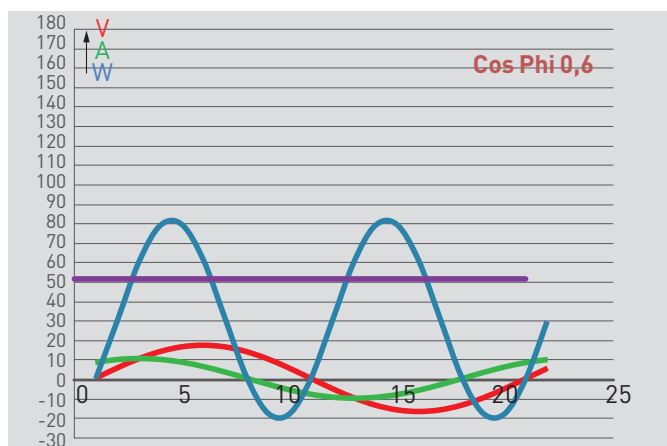
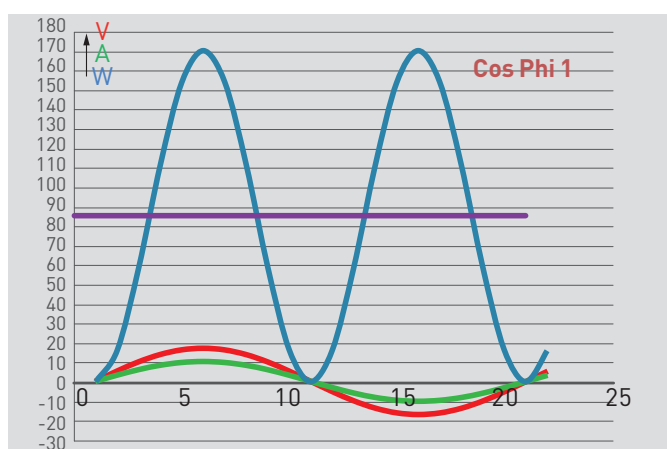
Quelques exemples de $\cos \varphi$:

- Eclairage à incandescence $\cos \varphi = 1$
- Eclairage fluo avec ballast électronique $\cos \varphi = 1$
- Eclairage type tube fluorescent : avec compensation $\cos \varphi = 0,85$ et sans compensation $\cos \varphi = 0,5$
- Moteurs : marche normale $\cos \varphi = 0,75$ à $0,92$ et au démarrage $\cos \varphi = 0,3$ à $0,5$. En l'absence d'indication, il est prudent de prendre $\cos \varphi = 0,8$

— Tension
— Intensité
— Puissance
— Puissance moyenne



Rendement



Le rendement permet de caractériser la proportion des pertes face à la puissance consommée.

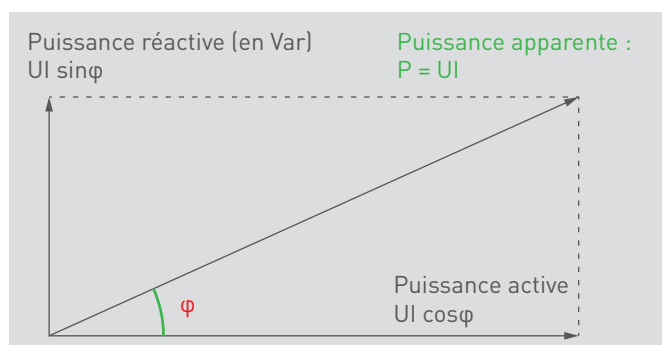
Le rendement s'écrit :

$$\eta = \frac{P_{\text{active fournie au secondaire}}}{P_{\text{active totale absorbée}}}$$

$$\eta = \frac{U_2 \times I_2 \times \cos\phi}{U_2 \times I_2 \times \cos\phi + \text{Perte à vide} + \text{perte due à la charge}}$$

Ainsi, le rendement d'un transformateur peu chargé sera mauvais : les pertes deviennent importantes (notamment les pertes à vide qui restent constantes) face à la puissance consommée par la charge.

Ce rendement sera également dégradé si le déphasage de cette charge est important ($\cos\phi < 1$).



Pertes d'un transformateur

Les pertes d'un transformateur se composent des pertes à vide et des pertes dues à la charge :

1 LES PERTES À VIDE

Appelées souvent pertes fer.

Elles se produisent au sein du noyau ferromagnétique. Elles dépendent de la fréquence et de la tension d'alimentation.

Elles ne dépendent pas de la charge au secondaire du transformateur.

La magnétisation des tôles s'accompagne de pertes d'énergie sous forme de chaleur. Elles sont de deux sortes :

- Les pertes par hystérésis : la magnétisation du matériau n'est pas totalement réversible. L'alimentation en alternatif crée un changement de direction du flux à chaque alternance de la tension, obligeant les atomes de fer à se réorienter en permanence. Ceci provoque un frottement, générateur de pertes. Ce sont les pertes par hystérésis. Elles dépendent du courant magnétisant et de la mémoire du matériau.
- Les pertes par courant de Foucault : sont provoquées par des courants induits, perpendiculaires à la tôle électriquement conductrice, qui tentent d'annuler un champ magnétique qui la traverse. Ces courants induits sont d'autant plus importants que la surface traversée par le champ magnétique est grande. Les pertes par courant de Foucault dépendent du carré de l'épaisseur de la tôle. C'est pourquoi le circuit magnétique des transformateurs n'est pas taillé dans un bloc d'acier, mais réalisé par un feuilletage de tôles isolées les unes des autres.

2 LES PERTES DUES À LA CHARGE

Les pertes dues à la charge (ou pertes par effet Joule) sont dues à l'échauffement provoqué par la circulation du courant dans les enroulements primaire et secondaire. Ces pertes sont proportionnelles au carré de la charge du transformateur.

C'est la dissipation d'énergie sous forme de chaleur provoquée par le passage du courant dans l'enroulement primaire et l'enroulement secondaire.

Comme la résistance des enroulements varie en fonction de la température(*), les pertes dues à la charge sont plus importantes quand le transformateur a fonctionné depuis quelques heures et est stabilisé en température par rapport au démarrage.

Au catalogue LEGRAND, les pertes dues à la charge sont données à température stabilisée sous charge nominale.

LES PERTES TOTALES = PERTES À VIDES + PERTES DUES À LA CHARGE

$$(*) : R_{T1} = R_{T0} [1 + (\alpha (T_1 - T_0))]$$

R_{T1} est la résistance de l'enroulement à la température T_1

R_{T0} est la résistance de l'enroulement à la température T_0

α est le coefficient de température. Il dépend du matériau utilisé.

(pour cuivre, $\alpha = 3,92927308 \times 10^{-3} K^{-1}$ à Tambiant 20°C, pour l'aluminium, $\alpha = 3,90625 \times 10^{-3} K^{-1}$ à Tambiant 20°C)

Classe de température

La classe de température d'un transformateur indique qu'en usage normal, à une température ambiante de 25°C (si aucune température ambiante n'est précisée, ou à la température ambiante indiquée par le constructeur et figurant dans ce cas sur le produit), les enroulements du transformateur ne dépasseront pas les températures suivantes :

Classe B : 130°C

Classe F : 155°C

Classe H : 180°C

Puissance instantanée admissible (PIA)

La puissance instantanée admissible d'un transformateur est une puissance « pic » que le transformateur est capable de fournir pendant un temps très bref (de quelques ms à quelques secondes) .

Cette caractéristique est importante pour le dimensionnement du transformateur, car elle doit être suffisante pour prendre en charge les appels de courant de certaines charges inductives.

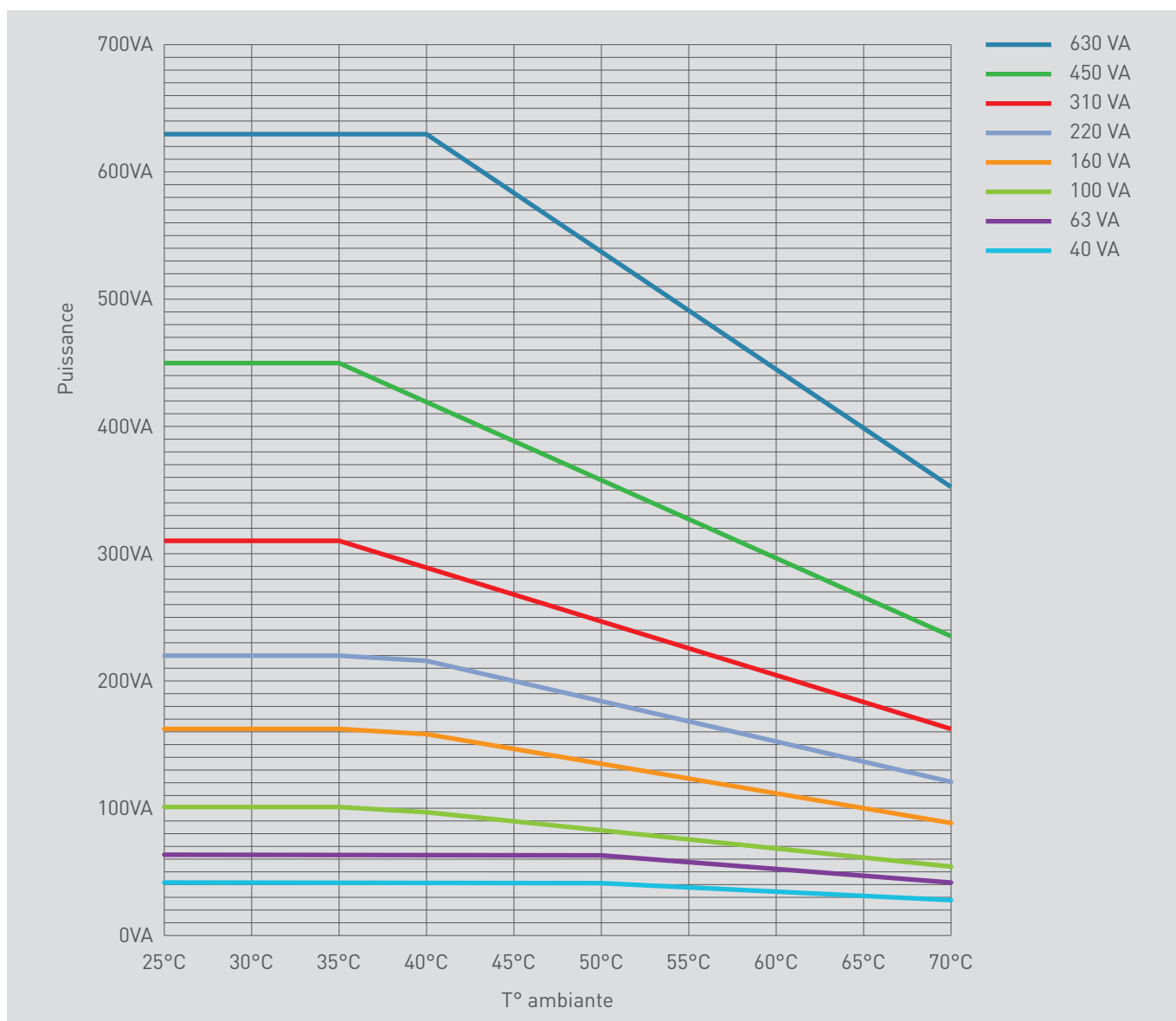
(Voir dimensionnements page 24)

Déclassement en fonction de la température ambiante

Lorsque la température ambiante augmente, on est parfois amené à devoir diminuer la puissance d'utilisation du transformateur pour respecter sa classe de température (voir chapitre « Classe de température »)

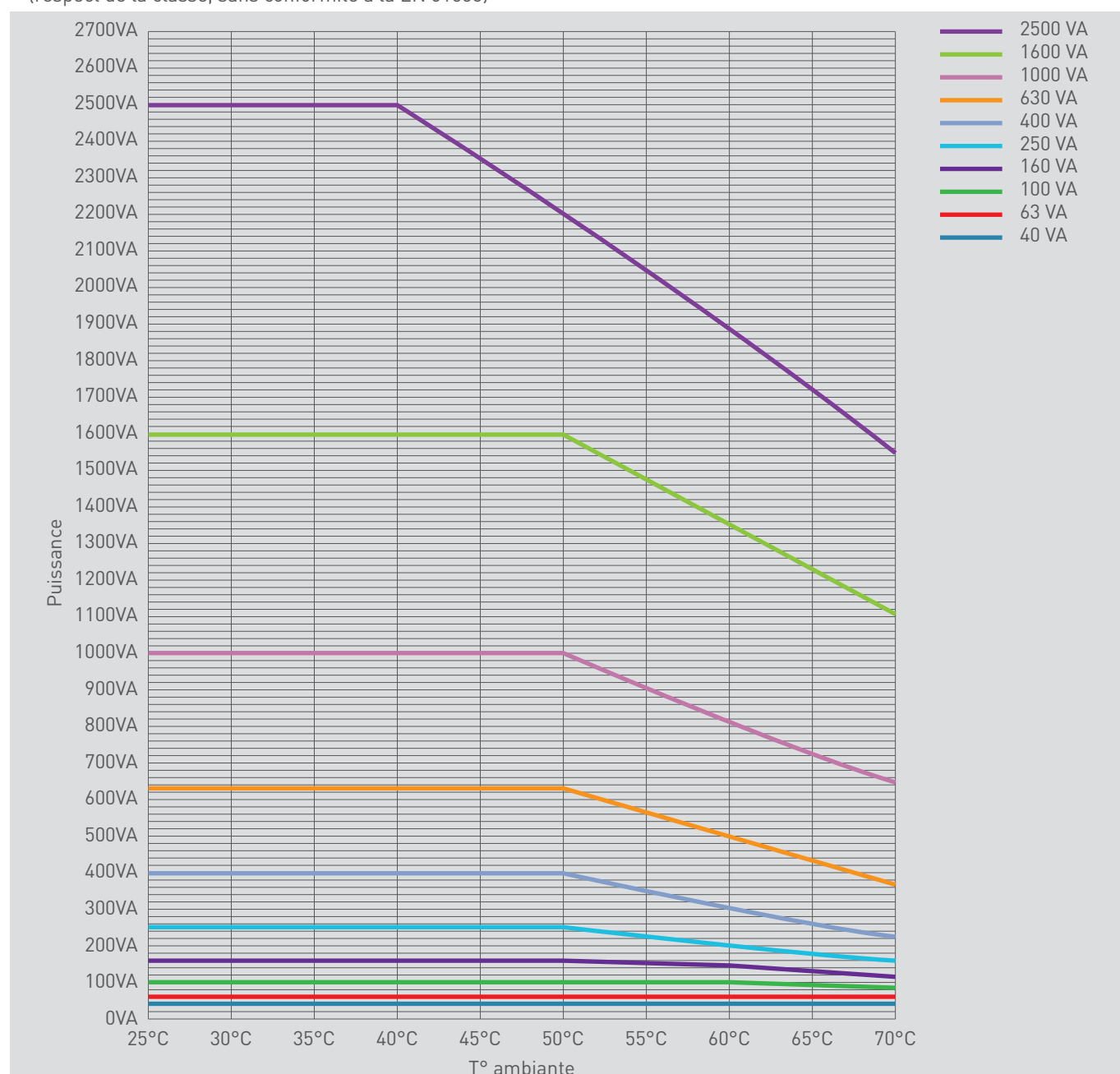
TRANSFORMATEURS D'ÉQUIPEMENT

- **Déclassement de la puissance en fonction de la température ambiante**
(respect de la classe, sans conformité à la EN 61558)



TRANSFORMATEURS DE COMMANDE ET DE SIGNALISATION

■ Déclassement de la puissance en fonction de la température ambiante (respect de la classe, sans conformité à la EN 61558)



QUESTIONS DIVERSES

■ Il arrive qu'une tension soit détectée à vide entre la masse et le neutre.

Il peut s'agir d'une simple tension capacitive : lorsqu'on essaie de brancher une charge, la tension s'écroule immédiatement.

Il peut s'agir d'une pollution de la masse. Dans ce cas, une mesure ailleurs que sur le transformateur entre la masse et le neutre indique également une tension. Il s'agit alors d'un problème d'installation.

■ Il arrive qu'il y ait des problèmes quant au raccordement des chaudières.

Dans de nombreux cas, le problème est résolu en reliant le neutre à la masse.

Toutefois, toutes les chaudières n'ont pas les mêmes règles d'installation, il faut donc impérativement se référer aux consignes d'utilisation du constructeur de la chaudière.

DIMENSIONNEMENT DU TRANSFORMATEUR (COMMANDE-CONTRÔLE)

Chaque circuit a besoin d'une puissance de transformateur spécifique : c'est le dimensionnement.

Dans le cas des transformateurs Commande-Contrôle, il ne suffit pas d'additionner les puissances des circuits d'utilisation, mais il faut également tenir compte de la puissance instantanée admissible, qui devra être suffisante pour assumer les puissances d'appels des charges (Bobines de contacteurs essentiellement, mais aussi moteurs ou actionneurs divers).

Pour un équipement comportant des automatismes, la sélection du transformateur adaptée se fera avant tout selon 2 paramètres :

- La puissance maximale nécessaire à un instant donné (puissance d'appel)
- Le Cos ϕ (voir page 16 Puissance : effet du cos ϕ)

En complément, il sera nécessaire de confirmer le choix à l'aide des paramètres suivant :

- La puissance permanente
- La chute de tension (Voir page 13 Tension à vide)
- La température ambiante (voir page 19)

Pour déterminer la puissance d'appel, nous convenons des facteurs suivants :

- Deux appels ne peuvent se produire en même temps
- Le facteur de puissance cos ϕ est de 0,5
- 80 % des appareils, au maximum, sont alimentés en même temps.

De manière empirique et pour simplifier, cette puissance se calcule selon la formule suivante :

$$\text{Rappel} = 0,8 \times (\Sigma P_m + \Sigma P_v + P_a)$$

ΣP_m : Somme de toutes les puissances de maintien des contacteurs

ΣP_v : Somme de toutes les puissances des voyants

P_a : Puissance d'appel du plus gros contacteur

Exemple : Une armoire des commande de machine-outil comportant :

- 10 contacteurs pour moteurs de 4 kW, puissance de maintien 8 VA
- 4 contacteurs pour moteurs 18,5 kW, puissance de maintien de 20 VA
- 1 contacteur pour moteur 45 kW, puissance de maintien 20 VA, puissance d'appel 250 VA à cos ϕ 0,5
- 12 relais de télécommande, puissance de maintien 4 VA
- 45 voyants de signalisation, consommation 1 VA

Ce qui donne les calculs suivants :

$$\Sigma P_m = 10 \times 8 \text{ VA} = 80 \text{ VA}$$

$$4 \times 20 \text{ VA} = 80 \text{ VA}$$

$$1 \times 20 \text{ VA} = 20 \text{ VA}$$

$$12 \times 4 \text{ VA} = 48 \text{ VA}$$

$$228 \text{ VA}$$

$$\Sigma P_v = 45 \times 1 \text{ VA} = 45 \text{ VA}$$

$$P_a = 250 \text{ VA}$$

$$\text{Rappel} = 0,8 (228 + 45 + 250) = 418 \text{ VA à cos } \phi 0,5$$

Pour les transformateurs de commande, il suffit de lire le dimensionnement dans le tableau ci-dessous :

PUISSANCE NOMINALE (VA)	P.I.A. À COS ϕ =								
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
40	69	63	58	55	52	50	49	49	58
63	120	110	98	90	85	81	78	78	89
100	210	180	170	150	140	140	130	130	150
160	390	340	300	270	250	230	220	220	230
250	540	490	450	420	400	380	370	370	440
400	1900	1400	1200	980	800	800	700	600	600
630	2200	1700	1400	1000	1000	900	800	800	700
1000	3400	2800	2300	2000	1800	1600	1500	1400	1300
1600	14300	12000	10300	9100	8200	7500	7000	6600	6800

EXEMPLES D'APPLICATIONS AVEC LES TRANSFORMATEURS

Circuits TBT

Les limites de la très basse tension sont déterminées réglementairement :

en courant alternatif : $U \leq 50 \text{ V}$

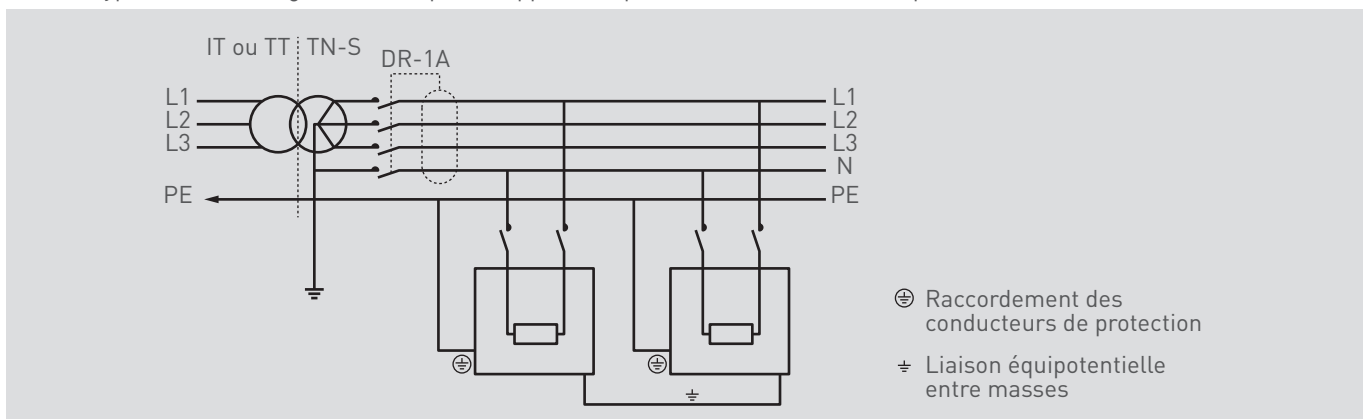
en courant continu : $U \leq 120 \text{ V}$

DOMAINE DE TENSION	ALIMENTATION	LIAISON À LA TERRE	SECTIONNEMENT ET PROTECTION, CONTRE LES COURTS-CIRCUITS	PROTECTION CONTRE LES CONTACTS INDIRECTS	PROTECTION CONTRE LES CONTACTS DIRECTS	RÉCEPTEURS	EN CONDITION IMMERGÉE
TBTS (Sécurité)	Transformateur de sécurité IEC/EN 61558-2-6 	INTERDITE	De tous les conducteurs actifs 	NON si U<25V AC (ou 60V DC) OUI si U>25V AC (ou 60V DC)	NON si U<25V AC (ou 60V DC) OUI si U>25V AC (ou 60V DC)		- U<12V obligatoirement - source de courant déportée au delà des volumes 0, 1 et 2 des salles d'eau - la protection contre les contacts directs doit obligatoirement être assurée
TBTP (Protection)	Transformateur de sécurité IEC/EN 61558-2-6 	Conducteur actif relié à la terre 	De tous les conducteurs actifs 	NON si U<12V AC (ou 30V DC) OUI si U>12V AC (ou 30V DC)	NON si U<12V AC (ou 30V DC) OUI si U>12V AC (ou 30V DC)		UTILISATION INTERDITE
TBTF (Fonctionnelle)	Transformateur d'origine indéterminée 	Conducteur actif relié à la terre 	De tous les conducteurs actifs  	OUI (DDR)	OUI (appareils IP 2x)		UTILISATION INTERDITE

Changement de régime de neutre

Exemple de passage d'un régime IT sans neutre → TN-S avec création de neutre.

Schéma type d'un îlot en régime TN-S triphasé (application possible à un schéma monophasé)

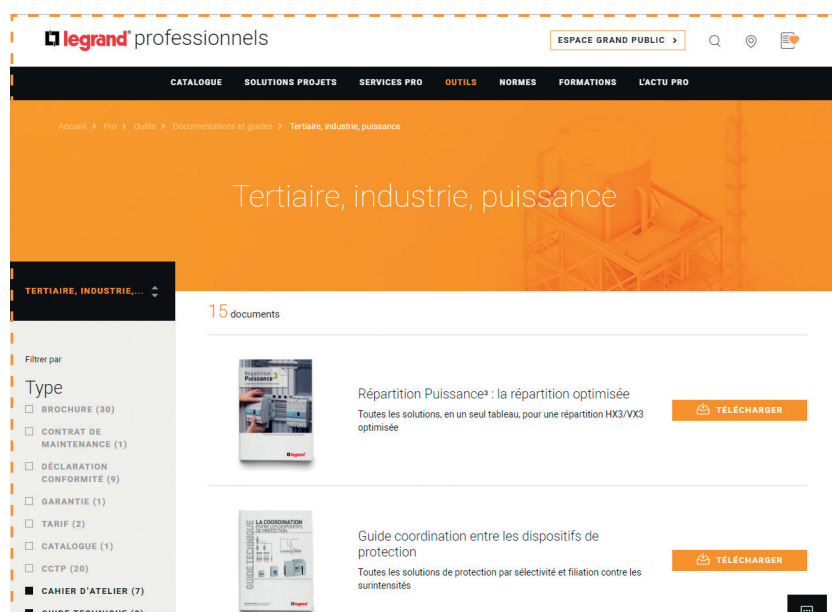


Pour en savoir plus,



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

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



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





et Direction Internationale