

# Chapitre N

## Les alimentations et récepteurs particuliers

### Sommaire

<b>1</b>	<b>La protection des circuits alimentés par un alternateur</b>	<b>N2</b>
	1.1 Protection d'un alternateur	N2
	1.2 Protection d'un réseau BT alimenté par un alternateur	N5
	1.3 Les fonctions de contrôle	N6
	1.4 Mise en parallèle de groupes -GE-	N11
<b>2</b>	<b>Les alimentations sans interruption -ASI-</b>	<b>N12</b>
	2.1 Disponibilité et qualité de l'énergie électrique	N12
	2.2 Types d'ASI	N13
	2.3 Batteries	N16
	2.4 Les schémas des liaisons à la terre des installations avec ASI	N18
	2.5 Protection de l'installation	N20
	2.6 Installation, raccordement et choix de la section des câbles	N22
	2.7 Les ASI et leur environnement	N24
	2.8 Equipements complémentaires	N24
<b>3</b>	<b>La protection des transformateurs BT/BT</b>	<b>N26</b>
	3.1 Pointes de courant à l'enclenchement	N26
	3.2 Choix de la protection d'un départ alimentant un transformateur BT/BT	N26
	3.3 Caractéristiques électriques à 50 Hz des transformateurs BT/BT	N27
	3.4 Protection des transformateurs BT/BT par disjoncteurs Schneider Electric	N28
<b>4</b>	<b>Les circuits d'éclairage</b>	<b>N29</b>
	4.1 Les différentes technologies de lampes	N29
	4.2 Caractéristiques électriques des lampes	N31
	4.3 Les contraintes relatives aux appareils d'éclairage et les recommandations	N36
	4.4 Évolutions des appareils de commande et de protection	N44
	4.5 Éclairage des lieux publics	N44
<b>5</b>	<b>Les moteurs asynchrones</b>	<b>N47</b>
	5.1 Les systèmes de contrôle-moteur	N47
	5.2 Fonction de protection moteur	N48
	5.3 La surveillance des moteurs	N51
	5.4 Configuration de démarrage moteur	N52
	5.5 Coordination des protections	N57
	5.6 Configuration de démarrage moteur	N52
	5.7 Appareil de connexion, de commande et de protection	N54
	5.8 5.8 Le système iPMCC	N56
	5.9 Communication	N58

#### Nota :

Les spécificités des normes et réglementations françaises sont présentées sur un fond gris.

# 1 La protection des circuits alimentés par un alternateur

L'architecture et le plan de protection d'une distribution BT en aval d'un groupe sont à définir spécifiquement en prenant en compte :

- les caractéristiques de l'alternateur,
- les charges prioritaires et/ou de sécurité.

La plupart des installations électriques comportent des récepteurs dont il faut assurer l'alimentation même en cas de coupure du réseau de distribution publique parce qu'il s'agit :

- soit d'équipements constituant une installation de sécurité (éclairage de sécurité, surpresseurs d'incendie, désenfumage, alarme, signalisation, etc.),
- soit d'équipements prioritaires dont l'arrêt prolongé entraînerait des pertes de production ou la destruction de l'outil de travail.

Un des moyens les plus courants pour maintenir la continuité de l'alimentation en énergie des charges dénommées « prioritaires », dans le cas où la source principale est défaillante, est d'installer un groupe électrogène connecté via un inverseur de source à un tableau regroupant les charges prioritaires (cf. **Fig. N1**).

Les groupes électrogènes (dénommés aussi GE ou groupe) sont aussi utilisés en distribution électrique HT.

En BT, ils sont employés comme :

- source de Remplacement,
- source de Sécurité,
- parfois source de Production.

Lorsqu'un besoin de qualité d'énergie est indispensable, le groupe est associé à une Alimentation sans Interruption (ASI).

Les règlements de sécurité prescrivent la mise en œuvre de sources de Remplacement ou de Sécurité. Par exemple :

- règlement de sécurité des ERP (Etablissement recevant du public),
  - norme NF C 15-211 (Installation dans les locaux à usage médical) au § 12.1.
- Celles-ci doivent être installées conformément à la NF C 15-100 § 551.

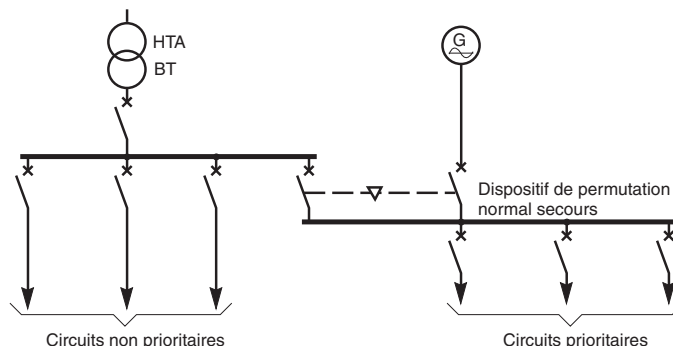


Fig. N1 : Exemple de circuits alimentés par un transformateur ou un alternateur

N2

## 1.1 Protection d'un alternateur

La **Figure N2** ci-dessous montre les paramètres de dimensionnement électrique d'un groupe électrogène :

- $P_n$  : puissance du moteur thermique,
- $U_n$  : tension assignée fournie par l'alternateur,
- $I_n$  : courant assigné fourni par l'alternateur.

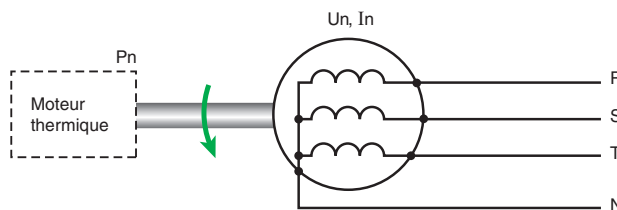


Fig. N2 : Schéma de principe d'un groupe électrogène

# 1 Protection des circuits alimentés par un alternateur

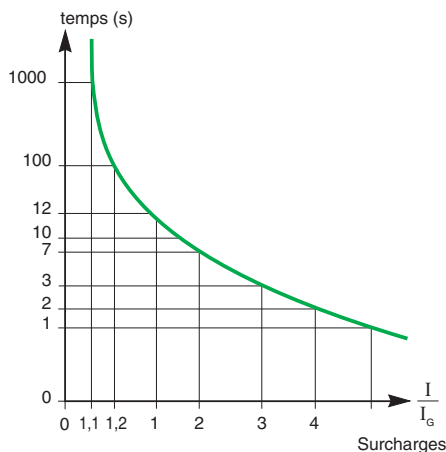


Fig. N3 : Exemple de courbe de surcharge  $t = f(I/I_n)$

## Protection contre les surcharges

La courbe de protection de l'alternateur doit être analysée (cf. Fig. N3). Les normes ou les besoins des applications peuvent aussi imposer un régime spécifique de surcharge. Par exemple :

$I/I_n$	t
1,1	> 1 h
1,5	30 s

Les possibilités de réglages des protections surcharge (ou Long retard) doivent suivre au plus près ces impositions.

### Note sur les surcharges

■ Pour des raisons économiques, le moteur thermique d'un groupe de Remplacement peut être strictement dimensionné pour sa puissance nominale. S'il y a une surcharge de puissance active, le moteur diesel cale.

Le bilan de puissance active des charges prioritaires doit le prendre en compte.

■ Un groupe de Production doit pouvoir supporter des surcharges d'exploitation :

- surcharge pour une marche uni horaire,
- surcharge pour une marche 1 h toutes les 12 h (régime unihoraire).

## Protection contre les courts-circuits

### Établissement du courant de court-circuit

Le courant de court-circuit est la somme :

- d'un courant apériodique,
- d'un courant sinusoïdal amorti.

L'équation du courant de court-circuit montre que celui-ci s'établit suivant trois phases (cf. Fig. N4)

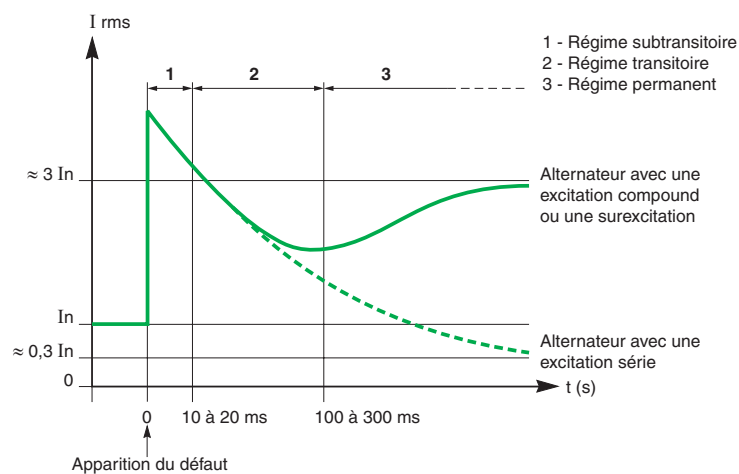


Fig. N4 : Niveau de courant de court-circuit pendant les 3 phases

### ■ Régime subtransitoire

A l'apparition d'un court-circuit aux bornes d'un alternateur, le courant s'établit d'abord à une valeur relativement élevée de l'ordre de 6 à 12  $I_n$  pendant le premier cycle (0 à 20 milliseconde).

L'amplitude d'un tel courant de court circuit est définie par trois paramètres :

- la réactance subtransitoire de l'alternateur,
- le niveau d'excitation préalable à l'instant du défaut,
- l'impédance du circuit en défaut.

L'impédance de court-circuit de l'alternateur à considérer est la réactance subtransitoire  $x''_d$  exprimée en % de  $U_0$  (tension phase neutre) par le constructeur. La valeur typique est de 10 à 15 %.

On en déduit l'impédance de court-circuit subtransitoire de l'alternateur

$$X''_d(\text{ohms}) = \frac{U_n^2 x''_d}{100 S} \text{ avec } S = \sqrt{3} U_n I_n$$

N3

■ Régime transitoire

Le régime transitoire se situe de 100 à 500 ms après l'apparition du défaut. A partir de la valeur du courant de défaut de la période subtransitoire, le courant décroît jusqu'à 1,5 à 2 fois le courant In.

L'impédance de court-circuit à considérer pour cette période est la réactance transitoire x'd exprimée en % Uo par le constructeur. La valeur typique est de 20 à 30 %.

■ Régime permanent

Le régime permanent se situe au-delà de 500 ms. Lorsque le défaut persiste, la tension de sortie du groupe s'effondre, la régulation de l'excitatrice cherche à faire remonter cette tension de sortie. Il en résulte un courant de court-circuit entretenu stabilisé :

□ si l'excitation de l'alternateur n'augmente pas pendant un court-circuit (pas de surexcitation de champ), mais se maintient au niveau précédant le défaut, le courant se stabilise à une valeur qui est donnée par la réactance synchrone Xd de l'alternateur. La valeur typique de xd est supérieure à 200 %. De ce fait, le courant final sera inférieur au courant pleine charge de l'alternateur, en général de l'ordre de 0,5 In

□ si l'alternateur est équipé d'une excitation maximale de champ (forçage du champ) ou d'une excitation compound, la tension de "survoltage" de l'excitation fera augmenter le courant de défaut pendant 10 secondes habituellement à 2 à 3 fois le courant pleine charge de l'alternateur.

**Calcul du courant de court-circuit**

Les constructeurs précisent en général les valeurs des impédances et les constantes de temps nécessaires à l'analyse du fonctionnement en régime transitoire ou permanent (cf. Fig. N5).

(kVA)	75	200	400	800	1 600	2 500
x'd (subtransitoire)	10,5	10,4	12,9	10,5	18,8	19,1
x'd (transitoire)	21	15,6	19,4	18	33,8	30,2
xd (permanente)	280	291	358	280	404	292

Fig. N5 : Exemple de valeurs d'impédance (en %) selon des puissances d'alternateurs

Les résistances étant toujours négligeables devant les réactances, l'intensité de court-circuit en période transitoire, est donnée par :

$$I_{cc3} = \frac{U_0}{X'd} \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (X'd \text{ en ohm})$$

ou

$$I_{cc3} = \frac{I_n}{X'd} 100 \quad (X'd \text{ en \%})$$

**Nota** : Ces valeurs sont à rapprocher du courant de court-circuit aux bornes d'un transformateur : ainsi, pour une même puissance, les courants en cas de défaut proche d'un alternateur seront 5 à 6 fois plus faibles que ceux fournis par un transformateur.

Cette différence est encore accentuée par le fait que le groupe électrogène a en général une puissance inférieure à celle du transformateur (cf. Fig. N6).

Lorsque le réseau BT est alimenté par la source 1, Normal de 2000 kVA, le courant de court-circuit est de 42 kA au niveau du jeu de barres du TGBT. Lorsque le réseau BT est alimenté par la source 2, groupe de Remplacement de 500 kVA à réactance transitoire de 30 %, le courant de court-circuit s'établit à 2,5 kA environ soit à une valeur 16 fois plus faible qu'avec la source Normal.

# 1 Protection des circuits alimentés par un alternateur

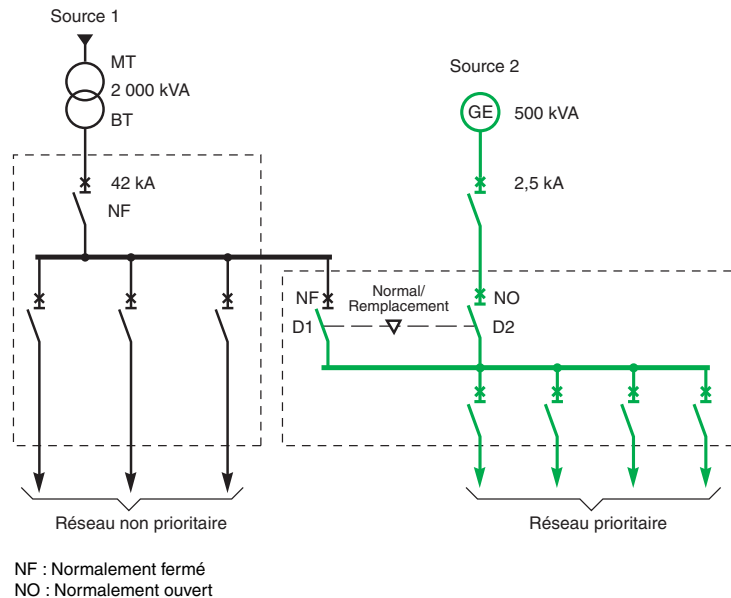


Fig. N6 : Exemple d'installation des circuits prioritaires alimentés en secours par un alternateur

## 1.2 Protection d'un réseau BT alimenté par un alternateur

### Protections des circuits prioritaires

#### Choix du pouvoir de coupure

Il doit être systématiquement vérifié avec les caractéristiques de la source Normal (transformateur MT/BT).

#### Choix et réglage des protections contre les courts-circuits (protection magnétique ou Court retard)

##### ■ Tableaux divisionnaires

Les protections des circuits divisionnaires et terminaux ont toujours des calibres faibles devant le courant assigné du groupe. De ce fait on retrouve, sauf cas particuliers, les conditions analogues à l'alimentation par le transformateur.

##### ■ Tableau général basse tension (TGBT)

□ Le dimensionnement des protections des départs prioritaires est en général proche de celui du groupe. Le réglage des protections contre les courts-circuits devra tenir compte de la caractéristique de court-circuit du groupe (voir ci-avant paragraphe 1.2),

□ la sélectivité des protections sur les départs prioritaires est à assurer en fonctionnement sur le groupe (elle peut même être imposée réglementairement, pour les départs de sécurité). Il est nécessaire de vérifier le bon étagement du réglage des protections contre les courts-circuits des départs principaux avec celui des protections divisionnaires en aval (normalement réglées pour des circuits de distribution à 10 In).

**Nota** : en fonctionnement sur le groupe, l'utilisation de DDR basse sensibilité permet de gérer le défaut d'isolement et d'assurer la sélectivité de manière très simple.

N5

### Sécurité des personnes

En schéma IT (2<sup>ème</sup> défaut) et TN, la protection des personnes contre les contacts indirects est assurée par la protection des disjoncteurs contre les courants de court-circuit. Leur fonctionnement sur défaut doit être assuré, que l'installation soit alimentée par la source Normal (transformateur) ou par la source Remplacement (groupe).

### Calcul du courant de défaut

Le courant Id de court-circuit (monophasé) phase neutre est donné par :

$$I_d = \frac{U_n \sqrt{3}}{2 X'd + X'o}$$

avec

X'o = réactance homopolaire exprimée en Ω, la réactance homopolaire x'o exprimée en % de Uo a une valeur typique de 8 %.

X'd = réactance transitoire exprimée en Ω, la réactance transitoire x'd exprimée en % de Uo a une valeur typique de 30 % (voir paragraphe 1.1).

Le courant de défaut d'isolement en système TN est légèrement supérieur au courant de défaut triphasé : par exemple, en cas de défaut d'isolement sur le schéma de l'exemple précédent (cf. Fig. N6), le courant de ce défaut est égal à 3 kA (au lieu de 2,5 kA pour Icc3).

## 1.3 Les fonctions de contrôle

Du fait des caractéristiques spécifiques de l'alternateur et de sa régulation, il est nécessaire lors de la mise en œuvre de charges particulières d'assurer le contrôle des paramètres de fonctionnement du groupe.

Un alternateur a un comportement différent de celui d'un transformateur :

- la puissance active qu'il fournit est optimisée pour un  $\cos \varphi = 0,8$ ,
- en deçà de  $\cos \varphi = 0,8$ , l'alternateur par augmentation de son excitation peut fournir une partie de la puissance réactive.

### Batteries de condensateurs

Un alternateur à vide branché sur une batterie de condensateurs peut « s'auto-amorcer » et monter en surtension (voir chapitre L paragraphe 7.2). Il faut donc déconnecter la batterie de condensateurs utilisée pour la régulation du facteur de puissance. Cette opération peut être réalisée en transmettant une consigne d'arrêt au régulateur de la batterie (s'il est connecté au système qui gère les permutations de sources) ou en ouvrant le disjoncteur alimentant la batterie de condensateurs. Si des condensateurs restent nécessaires, il ne faut pas dans ce cas utiliser la régulation du relais varométrique (mauvais réglage et trop lent).

### Redémarrage et ré-accélération des moteurs

Lorsqu'une installation fonctionne sur groupe et comporte un certain nombre de moteurs, il est nécessaire d'étudier l'incidence du démarrage simultané de tous les moteurs sur le fonctionnement du générateur. Un alternateur peut fournir au maximum en période transitoire un courant compris entre 3 et 5 fois son courant nominal. Un moteur absorbe au démarrage environ 6 In pendant 2 à 20 s. Si la somme des puissances des moteurs ( $\Sigma P$  moteurs) est importante, un démarrage simultané des charges entraîne un courant d'appel trop important qui peut être néfaste : chute de tension importante, du fait de la valeur élevée des réactances transitoire et subtransitoire du groupe (20 % à 30 %) d'où des risques :

- de non démarrage des moteurs,
- d'échauffement lié à l'allongement du temps de démarrage dû à la baisse de tension,
- de déclenchement des protections thermiques.

De plus le réseau et les actionneurs sont perturbés à cause de la chute de tension.

N6

# 1 Protection des circuits alimentés par un alternateur

## Application (cf. Fig. N7)

Un alternateur alimente un groupe de moteurs.

Caractéristiques de court-circuit de l'alternateur :  $P_n = 130 \text{ kVA}$  à  $\cos \varphi = 0,8$ ,  $I_n = 150 \text{ A}$

$X''_d = 20 \%$  (par exemple), d'où  $I_{cc} = 750 \text{ A}$ .

La question : est-il possible d'alimenter plusieurs moteurs de puissance totale  $\Sigma P = 45 \text{ kW}$  ou  $20 \text{ kW}$  ?

C'est le calcul de la chute de tension au démarrage qui permet de répondre.

■ le  $\Sigma P$  moteurs est de  $45 \text{ kW}$  (soit  $45 \%$  puissance de l'alternateur).

$\Sigma P$  moteurs =  $45 \text{ kW}$ ,  $I_m = 81 \text{ A}$ , d'où un courant de démarrage  $I_{dm} = 480 \text{ A}$  pendant  $2$  à  $20 \text{ s}$ .

La chute de tension sur le jeu de barres pour le démarrage simultané des moteurs se calcule à partir de l'équation :

$$\frac{\Delta U}{U} = \left( \frac{I_d - I_n}{I_{cc} - I_n} \right) \text{ en } \%$$

$\Delta U = 55 \%$  qui n'est pas supportable pour les moteurs (non démarrage).

■ le  $\Sigma P$  moteurs est de  $20 \text{ kW}$  ( $20 \%$  puissance de l'alternateur).

$\Sigma P$  moteurs =  $20 \text{ kW}$ ,  $I_m = 35 \text{ A}$ , d'où un courant de démarrage  $I_{dm} = 210 \text{ A}$  pendant  $2$  à  $20 \text{ s}$ .

Chute de tension sur le jeu de barres pour le démarrage simultané des moteurs :

$$\frac{\Delta U}{U} = \left( \frac{I_d - I_n}{I_{cc} - I_n} \right) \text{ en } \%$$

$\Delta U = 10 \%$  qui est supportable mais important (dépendant du type de charge).

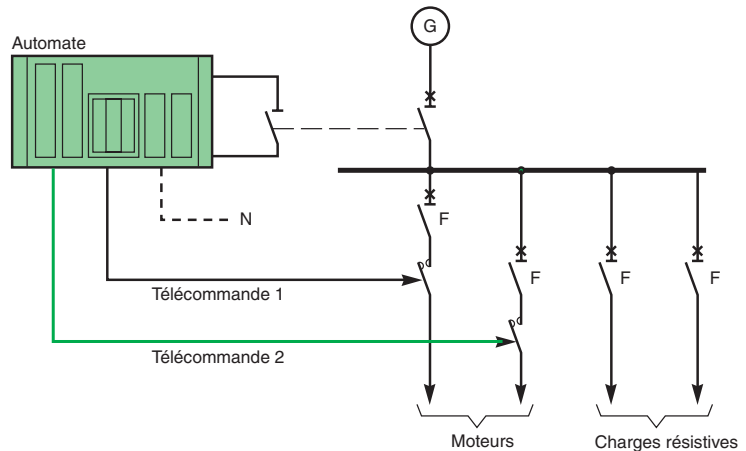


Fig. N7 : Redémarrage de moteurs prioritaires ( $\Sigma P > 1/3 P_n$ )

### Conseils de redémarrage :

- si la  $P_{max}$  du moteur le plus important  $> \frac{1}{3} P_n$ , un démarreur progressif doit impérativement être installé sur ce moteur,
- si  $\Sigma P$  moteurs  $> \frac{1}{3} P_n$ , le redémarrage en cascade des moteurs doit être géré par un automate,
- si  $\Sigma P$  moteurs  $< \frac{1}{3} P_n$ , il n'y a pas de problèmes de redémarrage.

N7

### Charges non linéaires - Exemple d'une ASI

#### Charges non linéaires

Il s'agit principalement :

- de circuits magnétiques saturés,
- de lampes à décharges, lampes fluorescentes,
- de convertisseurs électroniques,
- de systèmes de traitements informatiques : PC, ordinateurs, etc.

Ces récepteurs génèrent des courants harmoniques : lorsqu'ils sont alimentés par un groupe, une distorsion en tension importante peut apparaître du fait de la faible puissance de court-circuit de l'alternateur.

#### Alimentation Sans Interruption -ASI- (cf. Fig. N8)

L'association ASI et groupe électrogène est la solution optimale pour assurer une alimentation de qualité à autonomie longue pour alimenter des charges sensibles. Pour l'alternateur, l'ASI est aussi une charge non linéaire du fait de son redresseur d'entrée. A la permutation des sources, l'autonomie de l'ASI sur batterie doit permettre le démarrage et le couplage du groupe.

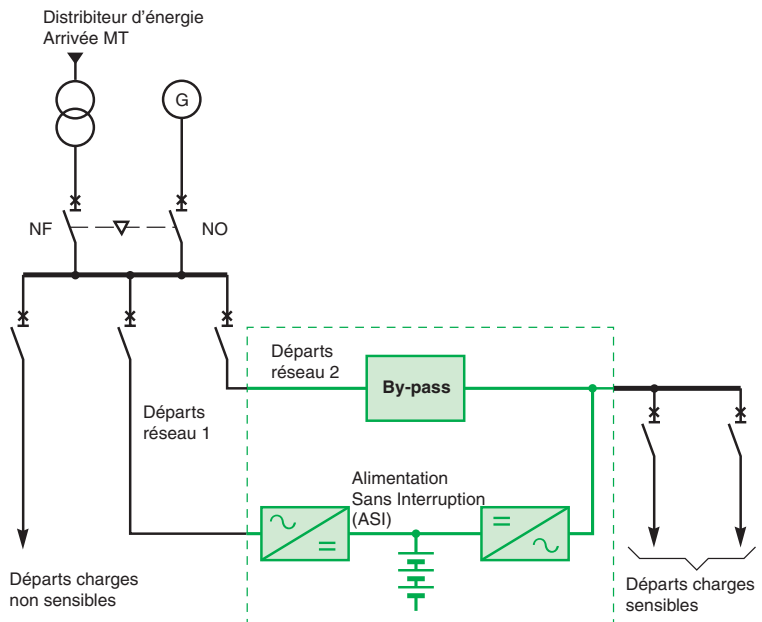


Fig. N8 : Association groupe (GE) et ASI pour une énergie de qualité

#### Puissance de l'ASI

La puissance appelée par une ASI doit prendre en compte :

- la puissance nominale des charges en aval. C'est la somme des puissances apparentes  $S_a$  absorbées par chacune des utilisations. Par ailleurs, pour ne pas surdimensionner l'installation, les performances de surcharge de l'ASI doivent être prises en compte (par exemple : 1,5  $I_n$  pendant 1 minute et 1,25  $I_n$  pendant 10 minutes),
- la puissance nécessaire à la recharge de la batterie : ce courant est proportionnel à l'autonomie souhaitée pour une puissance donnée. Le dimensionnement  $S_r$  d'une ASI est donnée par :  $S_r = 1,17 \times P_n$

Le tableau de la **Figure N9** définit les courants absorbés par le redresseur (réseau 1) et le réseau Secours (réseau 2) d'une ASI.

Puissance nominale	Intensité des courants (A)	
	Réseau 1 triphasé	Réseau 2 et Utilisation - triphasé
<b>Sn (kVA)</b>	<b>400 V - I1</b>	<b>400 V - Iu</b>
40	86	60,5
60	123	91
80	158	121
100	198	151
120	240	182
160	317	243
200	395	304
250	493	360
300	590	456
400	793	608
500	990	760
600	1 180	912
800	1 648	1 215

Fig. N9 : Courants absorbés par l'ASI sur le réseau 1 (redresseur/batterie) et sur le réseau 2

# 1 Protection des circuits alimentés par un alternateur

## Association groupe (GE) /ASI

### ■ Redémarrage du redresseur sur groupe

Le redresseur de l'ASI peut être équipé d'un système de démarrage progressif du chargeur pour éviter les appels de courant dommageables lors de la reprise de l'installation par le groupe (cf. Fig. N10).

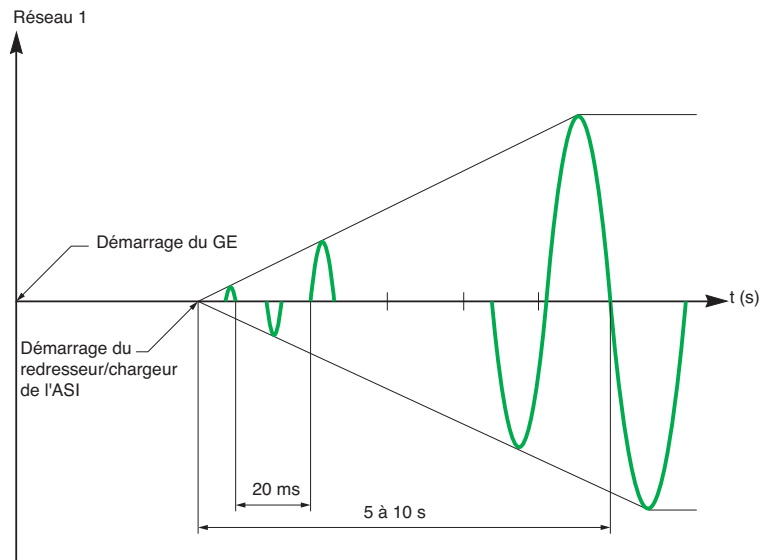


Fig. N10 : démarrage progressif du redresseur/chargeur d'une ASI

### ■ Harmoniques et distorsion de tension

Le taux de distorsion  $\tau$  en tension est définie par :

$$\tau (\%) = \frac{\sqrt{\sum U_h^2}}{U_1}$$

avec  $U_h$  harmonique de tension de rang  $h$ .

Ce taux dépend :

- des courants harmoniques générés par le redresseur (ils sont proportionnels à la puissance  $S_r$  du redresseur),
- de la réactance subtransitoire  $X''_d$  de l'alternateur,
- de la puissance  $S_g$  de l'alternateur.

On définit  $U'Rcc(\%) = X''_d \frac{S_r}{S_g}$  tension de court-circuit relative de l'alternateur, ramenée à la puissance du redresseur, soit  $\tau = f(U'Rcc)$ .

**Note 1 :** la réactance subtransitoire étant importante, le taux de distorsion est généralement trop important par rapport au taux toléré (soit 7 à 8 %) pour un dimensionnement économique raisonnable de l'alternateur : l'utilisation de filtre est la solution adaptée et économique.

**Note 2 :** la distorsion harmonique n'est pas gênante pour le redresseur mais peut l'être pour les autres charges alimentées en parallèle du redresseur.

N9

**Application**

En fait on utilise un abaque pour trouver le taux de distorsion en fonction de U'Rcc (cf. Fig. N11).

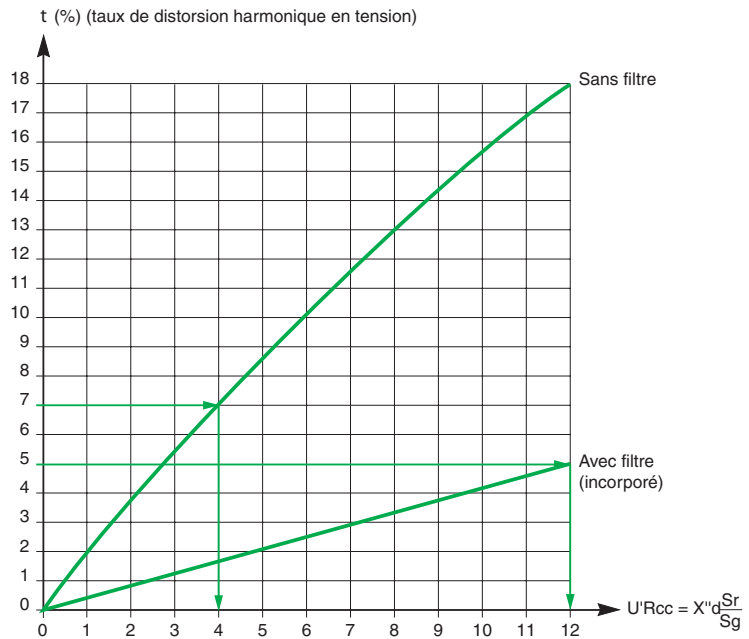


Fig. N11 : Abaque de calcul du taux de distorsion

L'abaque donne :

- soit  $\tau$  en fonction de U'Rcc,
- soit U'Rcc en fonction de  $\tau$  d'où on déduit le dimensionnement du groupe, Sg.

**Exemple : dimensionnement de l'alternateur**

■ ASI sans filtre de 300 kVA, réactance subtransitoire de 15 %,  
 La puissance  $S_r$  du redresseur est  $S_r = 1,17 \times 300 \text{ kVA} = 351 \text{ kVA}$   
 Pour un  $\tau < 7 \%$ , l'abaque donne U'Rcc = 4 %, la puissance Sg est :

$$S_g = 351 \times \frac{15}{4} \approx 1400 \text{ kVA}$$

■ ASI avec filtre de 300 kVA, réactance subtransitoire de 15 %  
 Pour  $\tau = 5 \%$ , le calcul donne U'Rcc = 12 %, la puissance Sg est :

$$S_g = 351 \times \frac{15}{12} \approx 500 \text{ kVA}$$

**Note** : avec un transformateur en amont de 630 kVA sur l'ASI sans filtre de 300 kVA, le taux de 5 % serait obtenu.

Il ressort qu'un fonctionnement sur groupe doit être en permanence contrôlé à cause des courants harmoniques générés.

S'il s'avère que le taux de distorsion de tension généré est trop important, l'utilisation de filtre sur le réseau est la solution la plus efficace pour le ramener à des valeurs tolérables par les charges sensibles.

N10

# 1 Protection des circuits alimentés par un alternateur

## 1.4 Mise en parallèle de groupes (-GE-)

La mise en parallèle de groupes électrogènes -GE- quel que soit le type d'application - source de Sécurité, de Remplacement ou de Production - nécessite une gestion plus fine du couplage c'est-à-dire un complément des fonctions de contrôle.

### Fonctionnement en parallèle

Lorsque des groupes alimentent en parallèle une même charge, il est nécessaire de bien les synchroniser (tension, fréquence) et de bien équilibrer la répartition des charges. Cette fonction est réalisée par la régulation de chaque groupe (du moteur et de l'excitation). Le contrôle des paramètres (fréquence, tension) se fait avant couplage et ce n'est que lorsque les valeurs de ces paramètres sont correctes que le couplage peut être effectué.

### Défauts d'isolement (cf. Fig. N12)

Un défaut d'isolement à l'intérieur de la carcasse métallique d'un alternateur risque de l'endommager gravement car il peut être analogue à un court-circuit phase-neutre. Le défaut doit être détecté et éliminé rapidement sinon les autres alternateurs vont débiter dans ce défaut et leurs protections déclencher par surcharge : la continuité de service de l'installation ne sera plus assurée. Une protection Terre (en anglais Ground Fault Protection -GFP-) intégrée dans les circuits des alternateurs permet :

- de les découpler rapidement lors d'un défaut et de préserver la continuité de service,
  - d'agir simultanément au niveau de leurs circuits de commande pour arrêter les groupes et ainsi diminuer les risques de dégradation.
- Cette protection GFP est de type "Residual sensing" à installer au plus près de la protection suivant un schéma TN-C/TN-S (1) au niveau de chaque groupe générateur avec mise à la terre des masses par un PE séparé. Ce type de protection est généralement appelé plus précisément « Restricted Earth Fault ».

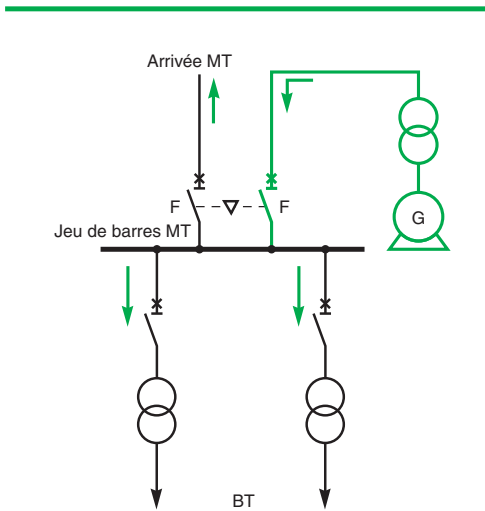


Fig. N13 : Sens du transfert de l'énergie = GE en générateur

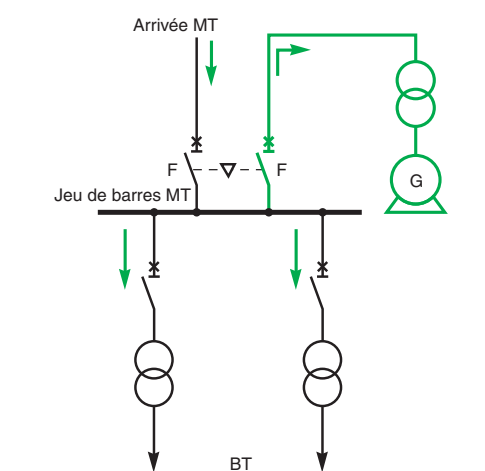


Fig. N14 : Sens du transfert de l'énergie = GE en récepteur

(1) Le schéma est en TN-C pour les groupes vus comme "générateur" et en TN-S pour les groupes vus comme "récepteur".

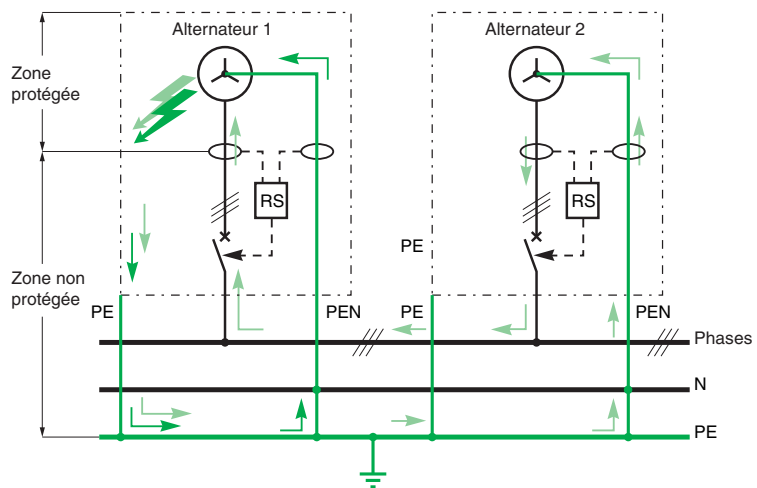


Fig. N12 : Défaut d'isolement à l'intérieur d'un alternateur

### Groupe (GE) fonctionnant en récepteur (cf. Fig. N13 et Fig N14)

Un des groupes en parallèle peut ne plus fonctionner en générateur mais en moteur (par perte de son excitation par exemple) ce qui peut générer la surcharge du ou des autres groupes et, donc, la mise hors service de l'installation électrique.

Afin de vérifier que le groupe fournit bien une puissance à l'installation (fonctionnement en générateur), il est nécessaire de vérifier le bon sens d'écoulement de l'énergie sur le jeu de barres du couplage par une fonction de contrôle spécifique "retour de puissance". En cas de défaut - c'est-à-dire fonctionnement du groupe en moteur -, cette fonction permet d'éliminer le groupe défectueux.

### Mise à la terre de groupes (GE) couplés en parallèle

La mise à la terre de groupes couplés peut conduire à des circulations de courants homopolaires (harmoniques 3 et multiples de 3), par le couplage des conducteurs de neutre utilisés pour la mise à la terre commune (SLT de type TN ou TT). C'est pourquoi pour éviter ces courants de circulation entre les groupes, il est préconisé de mettre une résistance de découplage dans le circuit de terre.

N11

## 2 Les alimentations sans interruption -ASI-

### 2.1 Disponibilité et qualité de l'énergie électrique

Les perturbations du réseau ont des conséquences possibles sur :

- la sécurité des personnes,
- la sécurité des biens,
- les objectifs économiques d'exploitation.

Il est donc souhaitable de les éliminer.

Diverses solutions techniques contribuent à cet objectif de façon plus ou moins complète. Ces solutions peuvent être comparées suivant deux critères d'appréciation :

- disponibilité de l'énergie fournie,
- qualité de cette énergie.

La disponibilité de l'énergie électrique est la permanence de l'énergie aux bornes des récepteurs. Elle est essentiellement liée aux coupures possibles de l'alimentation par suite de défaillance du réseau ou de défaut.

Plusieurs choix techniques contribuent partiellement à limiter ce risque :

- division des installations de façon à utiliser plusieurs sources d'alimentation distinctes de préférence à une seule,
- subdivision des circuits en prioritaires et non prioritaires avec reprise de l'alimentation des circuits prioritaires par une autre source disponible,
- délestage éventuel permettant d'utiliser une puissance réduite disponible en secours,
- choix du système des liaisons à la terre adapté aux objectifs de continuité de service (ex : régime IT),
- sélectivité des protections pour limiter l'incidence des défauts à une portion de l'installation.

Mais la seule façon de garantir la disponibilité de l'énergie vis-à-vis des coupures du réseau est de disposer d'une source de remplacement autonome, au moins pour les applications prioritaires (cf. Fig. N15).

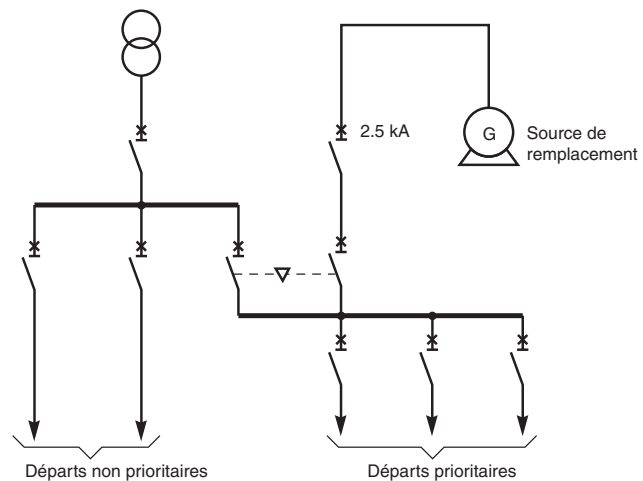


Fig. N15 : Source de remplacement autonome

Ce type de source se substitue au réseau, mais nécessite de prendre en compte :

- le temps de permutation (mis pour se substituer au réseau) dont la valeur doit être acceptable par la charge,
- l'autonomie de la source, c'est-à-dire le temps pendant lequel elle peut alimenter la charge.

La qualité de l'énergie électrique dépend de l'élimination plus ou moins complète des perturbations aux bornes des récepteurs.

Une source de remplacement permet d'assurer la disponibilité de l'énergie électrique aux bornes des récepteurs, mais ne garantit pas, selon le type de source retenu, la qualité de l'énergie fournie vis-à-vis de ces perturbations. Or, de nombreuses applications électroniques sensibles nécessitent une alimentation en énergie électrique exempte de ces perturbations, a fortiori de coupures, et ayant des tolérances de fluctuation autour des valeurs nominales plus strictes que celles du réseau. C'est le cas, par exemple, de centres informatiques, de centraux

## 2 Les alimentations sans interruption -ASI-

téléphoniques, ou de certains systèmes de contrôle-commande de processus industriels. Pour ces applications, il faut donc concilier les impératifs de disponibilité et de qualité de l'énergie électrique.

### La solution ASI

Pour alimenter ces applications, la solution consiste à insérer, entre le réseau d'alimentation et les charges sensibles, un équipement d'interface qui délivre une tension :

- épurée de toutes les perturbations du réseau, dans des tolérances strictes requises par les charges,
- disponible en cas de coupure du réseau dans ces tolérances.

Cette fonction de production d'une énergie fiabilisée est réalisée par les ASI (Alimentations Sans Interruption), couramment dénommées « onduleurs », qui concilient les impératifs de disponibilité et qualité de l'énergie en :

- délivrant à la charge une tension dans des tolérances strictes, grâce à une ASI,
- se comportant comme une source de remplacement autonome grâce à une batterie d'accumulateurs,
- se substituant au réseau sans temps de permutation, donc sans microcoupure pour la charge, grâce à un contacteur statique.

Ces caractéristiques font des ASI la source d'alimentation par excellence de toutes les applications sensibles auxquelles elles apportent une énergie fiabilisée quel que soit l'état du réseau.

Une ASI comprend schématiquement les équipements suivants :

- redresseur-chargeur, qui produit un courant continu qui charge une batterie et alimente un onduleur,
- onduleur (élément électronique d'une ASI qui transforme le courant continu en courant alternatif), qui produit une énergie de qualité, c'est-à-dire :
  - épurée de toutes les perturbations du réseau, et notamment de toutes les microcoupures,
  - dans des tolérances compatibles avec les exigences des appareils électroniques sensibles (pour la gamme Galaxy, la tolérance d'amplitude est de  $\pm 0,5$  % et la tolérance de fréquence de  $\pm 1$  %, contre  $\pm 10$  % et  $\pm 5$  % pour les réseaux, soit des facteurs d'amélioration de 20 et 5),
- batterie, qui procure une autonomie de fonctionnement suffisante (8 min à 1 h et plus) pour assurer la sécurité des personnes et de l'exploitation en se substituant si besoin au réseau,
- contacteur statique, dispositif à semi-conducteur qui permet de commuter la charge sans temps de coupure de l'onduleur sur le réseau et vice versa.

### 2.2 Types d'ASI

Les types d'ASI statiques sont définis par la norme CEI 62040 qui distingue les ASI fonctionnant en :

- attente passive (en anglais : passive stand-by, parfois aussi : off-line),
- interaction avec le réseau (en anglais : line-interactive),
- double conversion (en anglais : double conversion, parfois aussi : on-line).

Cette typologie fait intervenir le fonctionnement des ASI par rapport au réseau, terme qui recouvre en fait l'organisation de la distribution en amont de l'ASI.

La norme CEI 62040 définit la terminologie suivante pour le réseau :

- réseau source : réseau dont la puissance est normalement disponible de façon continue, habituellement fournie par une compagnie de distribution électrique, mais parfois par la propre station de production d'énergie de l'opérateur,
- réseau secours : réseau prévu pour remplacer le réseau source en cas de défaillance de celui-ci,
- réseau bypass : réseau dont la puissance est fournie à travers le bypass.

Pratiquement, une ASI dispose en général de deux entrées qui sont notées "Réseau 1" et "Réseau 2" dans la suite de ce chapitre.

- L'entrée Réseau 1 est alimentée par le réseau source, en pratique par un câble tiré depuis un départ du réseau amont de distribution publique ou privée.

- L'entrée Réseau 2 est alimentée par le réseau secours, en pratique par un câble tiré d'un départ du réseau amont distinct de celui alimentant l'entrée Réseau 1, ce départ pouvant être secouru (ex : groupe électrogène, autre ASI, etc.). Lorsqu'il n'existe pas de réseau secours disponible, l'entrée Réseau 2 est alimentée par le réseau source (dédoublage du câble de l'entrée Réseau 1). L'entrée Réseau 2 est aussi utilisée pour alimenter le circuit bypass de l'ASI lorsqu'il existe. Ainsi, le bypass sera alimenté par le réseau secours ou le réseau source, selon la disponibilité ou non d'un réseau secours.

N13

### ASI fonctionnant en attente passive (passive stand-by ou off-line)

#### Principe de fonctionnement

L'ASI intervient en parallèle et en secours du réseau (cf. Fig. N16).

##### ■ Mode normal

La charge est alimentée par le réseau, via un filtre qui élimine certaines perturbations et peut réaliser une régulation de la tension (la norme parle de "dispositifs additionnels de conditionnement"). L'ASI est en attente passive.

##### ■ Mode autonomie

Lorsque la tension alternative du réseau d'entrée est hors des tolérances spécifiées de l'ASI ou en cas de défaillance de ce réseau, l'onduleur et la batterie assurent la permanence de l'alimentation de la charge après un temps de permutation très court (< 10 ms). L'ASI continue à fonctionner sur batterie jusqu'à la durée d'autonomie de cette dernière ou au retour du réseau en tolérance, ce qui provoque le transfert de l'alimentation sur le réseau en mode normal.

#### Utilisation

Cette configuration résulte en fait d'un compromis entre un niveau acceptable de protection contre les perturbations et le coût correspondant. Elle n'est utilisable qu'avec de faibles puissances (< 2 kVA). D'autre part, fonctionnant sans véritable contacteur statique, elle fait intervenir un temps de basculement sur l'onduleur. Ce temps est acceptable pour certaines applications unitaires, mais incompatible avec les performances requises par des ensembles plus complexes et sensibles (gros centres informatiques, centraux téléphoniques, etc.). En outre, la fréquence de sortie n'est pas régulée et il n'y a pas de bypass.

**Nota :** en mode normal, la puissance de la charge ne transitant pas par l'onduleur, ce type d'ASI est parfois appelé "off-line". Ce terme est impropre, car il signifie aussi "non alimenté par le réseau" alors qu'en fait la charge est principalement alimentée par le réseau en mode normal. C'est pourquoi la norme CEI 62040 recommande de lui préférer "en attente passive".

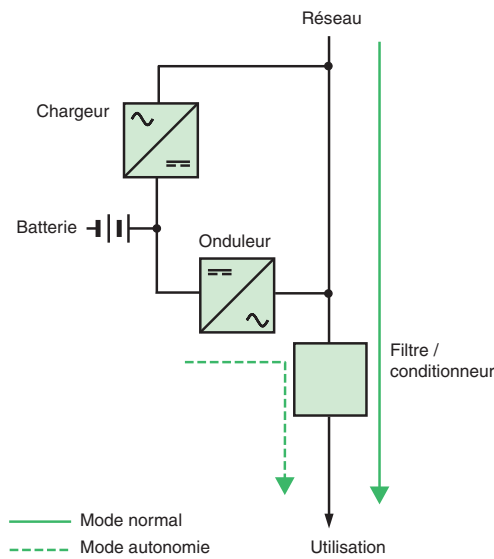


Fig. N16 : ASI fonctionnant en attente passive

### ASI fonctionnant en interaction avec le réseau (line interactive)

#### Principe de fonctionnement

L'ASI intervient en parallèle et en secours du réseau mais assure aussi la charge de la batterie. Il interagit de ce fait avec le réseau par un fonctionnement réversible (cf. Fig. N17).

##### ■ Mode normal

La charge est alimentée par le réseau conditionné constitué par le réseau en parallèle avec l'ASI. Cette ASI est en fonctionnement permanent afin de conditionner la puissance de sortie et/ou d'assurer la recharge de la batterie.

La fréquence de sortie est dépendante de la fréquence du réseau.

##### ■ Mode autonomie

Lorsque la tension du réseau d'entrée est hors des tolérances spécifiées de l'ASI ou en cas de défaillance du réseau, l'onduleur et la batterie assurent la permanence de l'alimentation de la charge après un transfert sans coupure grâce à un contacteur statique. Ce dernier déconnecte également l'alimentation d'entrée pour éviter un retour d'alimentation depuis l'onduleur. L'ASI continue à fonctionner sur batterie jusqu'à la durée d'autonomie de cette dernière ou au retour du réseau en tolérance, ce qui provoque le transfert de l'alimentation sur le réseau en mode normal.

##### ■ Mode bypass

Ce type d'ASI peut comporter un bypass. En cas de défaillance d'une des fonctions de l'ASI, l'alimentation de la charge peut être alors transférée sur l'entrée 2 via le bypass (alimentation par le réseau source ou secours selon l'installation).

#### Utilisation

Cette configuration est mal adaptée à la régulation de charge sensible en moyenne et forte puissance car ne permettant pas de régulation de la fréquence. Elle reste de ce fait marginale dans le domaine des moyennes et fortes puissances.

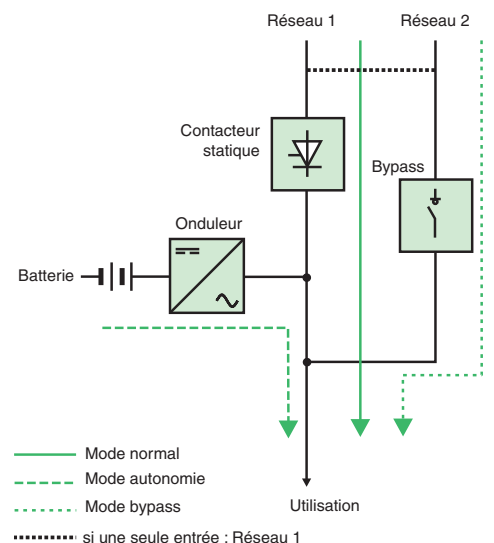


Fig. N17 : ASI en interaction avec le réseau

### ASI fonctionnant en double conversion (ou on-line)

#### Principe de fonctionnement

L'onduleur est inséré en série entre le réseau et l'application.

##### ■ Mode normal

La puissance fournie à la charge transite par la chaîne convertisseur-chargeur-onduleur qui réalise une double conversion alternatif-continu-alternatif, d'où la dénomination utilisée.

##### ■ Mode autonomie

Lorsque la tension alternative du réseau d'entrée est hors des tolérances spécifiées de l'ASI ou en cas de défaillance de ce réseau, l'onduleur et la batterie assurent la permanence de l'alimentation de la charge, après un transfert sans coupure grâce

## 2 Les alimentations sans interruption -ASI-

à un contacteur statique. L'ASI continue à fonctionner sur batterie jusqu'à la durée d'autonomie de cette dernière ou au retour du réseau en tolérance, ce qui provoque le transfert de l'alimentation sur le réseau en mode normal.

### ■ Mode bypass

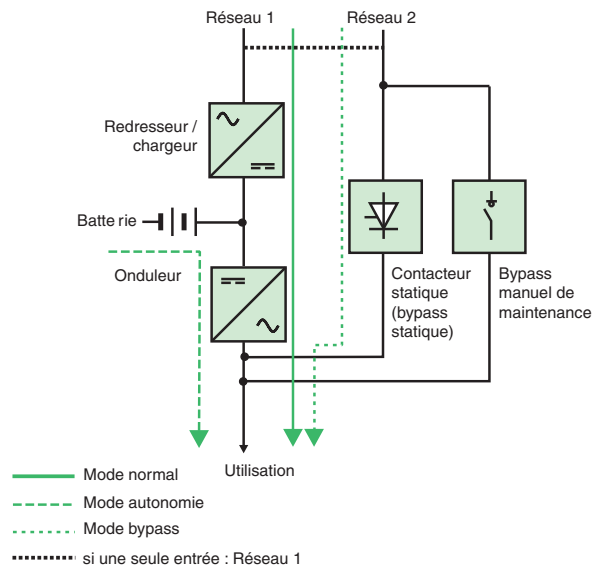
Ce type d'ASI comporte en général un bypass statique, le plus souvent appelé contacteur statique (cf. **Fig. N18**).

L'alimentation de la charge peut alors être transférée sans coupure sur l'entrée 2 via le bypass (alimentation par le réseau source ou le réseau secours selon l'installation) dans les cas suivants :

- défaillance de l'ASI,
- transitoire de courant de charge (courant d'appel ou d'élimination de défaut) ;
- pointes de charge.

Toutefois l'adjonction d'un bypass suppose des fréquences d'entrée et de sortie identiques et, si les niveaux de tension sont différents, un transformateur de bypass doit être prévu. Pour certaines charges, il faut synchroniser l'ASI avec le réseau d'alimentation du bypass pour maintenir la permanence de l'alimentation dans de bonnes conditions. Par ailleurs, en mode bypass une perturbation du réseau d'entrée peut se répercuter sur l'utilisation, puisque l'onduteur n'intervient plus.

**Nota** : une autre voie de bypass, appelée souvent bypass de maintenance, est prévue pour pouvoir réaliser la maintenance. Sa fermeture est commandée par un interrupteur manuel.



**Fig. N18** : ASI en double conversion

N15

### Utilisation

Dans cette configuration, il n'y a pas de temps de permutation lors des transferts de la charge sur onduleur du fait de la présence d'un contacteur statique. Cette configuration permet aussi à la tension et à la fréquence de sortie d'être indépendantes des conditions de la tension et de la fréquence d'entrée. Ceci permet à l'ASI, lorsqu'elle est conçue pour, de fonctionner en convertisseur de fréquence. C'est la principale configuration utilisée pour les moyennes et fortes puissances (à partir de 10 kVA). C'est celle qui sera envisagée dans la suite de ce chapitre.

**Nota** : ce type d'ASI est souvent appelé "on-line", signifiant que la charge est alimentée en permanence par l'onduleur indépendamment des conditions du réseau d'entrée. Ce terme est impropre, car il signifie aussi "sur réseau" alors qu'en fait la charge est alimentée par la chaîne de double conversion redresseur-chargeur-onduleur. C'est pourquoi la norme CEI 62040 recommande de lui préférer "double conversion".

## 2.3 Batteries

### Choix du type

Une batterie est faite à partir d'éléments qui sont raccordés en série.

On distingue deux principales familles de batteries :

- les batteries au plomb,
- les batteries au nickel-cadmium.

Elles peuvent être constituées de deux types d'éléments :

- éléments ouverts (batteries au plomb-antimoine), pourvus d'orifices qui permettent :
  - de libérer dans l'atmosphère l'oxygène et l'hydrogène produits lors des différentes réactions chimiques,
  - de rétablir la réserve d'électrolyte par adjonction d'eau distillée ou déminéralisée.
- éléments à recombinaison (batteries au plomb-cadmium, plomb pur, plomb-étain) dont le taux de recombinaison des gaz au moins égal à 95 % ne nécessitent pas d'adjonction d'eau pendant l'exploitation.

Par extension, batteries ouvertes ou à recombinaison sont des dénominations plus courantes (ces dernières sont d'ailleurs souvent appelées "batteries étanches").

Les principaux types de batteries utilisés en association avec les ASI sont :

- étanches au plomb, dans 95 % des cas, car faciles à maintenir et ne nécessitant pas de local spécifique,
- ouvertes au plomb,
- ouvertes au nickel-cadmium.

Ces 3 types de batterie peuvent être proposés, suivant les impératifs économiques et d'exploitation de l'installation, avec différentes durées de vie.

La puissance et l'autonomie peuvent être adaptées à la demande. Les batteries proposées bénéficient en outre d'une parfaite maîtrise du couple onduleur/batterie, résultat d'un travail en partenariat entre les constructeurs d'ASI, tel Schneider Electric, et les fabricants de batteries.

### Choix de l'autonomie

Le choix dépend :

- de la durée moyenne des défaillances du réseau d'alimentation,
- des moyens éventuels de secours à long terme (groupe électrogène, etc.),
- du type d'application.

Les diverses gammes proposent :

- des autonomies en standard de 10, 15 ou 30 minutes,
- des autonomies à la carte.

Ce choix obéit aux règles générales suivantes :

- dans une installation informatique
  - L'autonomie de la batterie doit être suffisante pour couvrir la durée des procédures d'arrêt et de sauvegarde nécessaires à un arrêt volontaire et "propre" de l'exploitation. C'est en général le service informatique qui détermine la valeur d'autonomie en fonction de ses contraintes.
- pour un processus industriel
  - Le calcul de l'autonomie doit prendre en compte le coût économique lié à une interruption du process et le temps de redémarrage de l'installation.

## 2 Les alimentations sans interruption -ASI-

### Tableau de choix

La **Figure N19** résume les principales caractéristiques des divers types de batteries. De plus en plus, les batteries à recombinaison semblent s'imposer pour les raisons suivantes :

- pas d'entretien,
- mise en œuvre facile,
- installation dans tout type de locaux (salles informatiques, locaux techniques non aménagés, etc.).

Dans certains cas cependant, les batteries ouvertes sont à privilégier, notamment pour obtenir :

- une durée de vie prolongée,
- de longues autonomies,
- de très fortes puissances.

Les batteries ouvertes doivent être installées dans des locaux aménagés répondant à une réglementation précise et nécessitent une maintenance adaptée<sup>(1)</sup>.

	Durée de vie	Compacité	Tolérance en température de fonctionnement	fréquence des entretiens	nécessité d'un local spécifique	Coût
Plomb étanche	5 ou 10 ans	+	+	Faible	Non	Moyen
Plomb ouvert	5 ou 10 ans	+	++	Moyenne	Oui	Faible
Nickel-cadmium	5 ou 10 ans	++	+++	Élevée	Non	Elevé

Fig. N19 : Principales caractéristiques des divers types de batteries

### Modes d'installation

Divers modes d'installation sont possibles.

Dans la gamme des ASI Schneider Electric, suivant la puissance et l'autonomie de la batterie, celle-ci est :

- à recombinaison et intégrée dans la cellule onduleur,
- à recombinaison et répartie dans une, deux ou trois armoires,
- ouverte ou à recombinaison et installée dans des locaux spécifiques ; dans ce cas, le mode d'installation peut être
  - en étagères (cf. **Fig. N20**), possible pour les batteries étanches ou ouvertes sans entretien qui ne nécessitent pas de remise à niveau de leur électrolyte,
  - en gradins (cf. **Fig. N21**), ce mode convient pour tout type de batterie, en particulier pour les batteries ouvertes, car il facilite la vérification des niveaux et le remplissage,
- Le mode de pose en armoire (cf. **Fig. N22**), réservé aux batteries étanches est simple à mettre en œuvre, et offre une sécurité maximale.

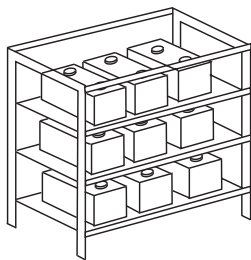


Fig. N20 : Batteries en étagères

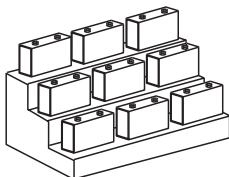


Fig. N21 : Batteries en gradins

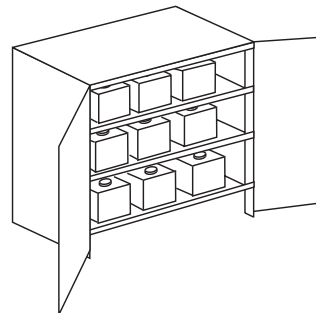


Fig. N22 : Batteries en armoire

N17

(1) La norme française NF C15-100 § 554 précise les conditions d'aménagement des locaux : qualification du personnel, ventilation du local, mise en œuvre d'un plancher de service, etc.

## 2.4 Les schémas des liaisons à la terre des installations avec ASI

L'application des mesures exigées par les normes aux réseaux comportant une ASI nécessite de prendre des précautions.

- L'ASI joue le double rôle de
  - récepteur pour le réseau amont,
  - source d'énergie pour le réseau aval.
- Lorsque la batterie n'est pas installée en armoire, un défaut d'isolement sur le réseau continu peut entraîner la circulation d'une composante différentielle continue. Cette composante est susceptible de perturber le fonctionnement de certaines protections, notamment des différentiels utilisés dans le cadre des mesures de protection des personnes.

### Protection contre les contacts directs

Les prescriptions applicables sont satisfaites pour toutes les installations dont l'équipement est installé dans une armoire ayant un degré de protection IP20 (cf. Chapitre E paragraphe 3.4).

Quand les batteries sont installées sur des étagères ou sur des gradins dans un local spécifiquement aménagé, des mesures réglementaires strictes sont à appliquer.

### Protection contre les contacts indirects (cf. Fig. N23)

Type de SLT	Schéma IT	Schéma TT	Schéma TN
<b>Technique d'exploitation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Signalisation du 1<sup>er</sup> défaut d'isolement</li> <li>■ Recherche et élimination du 1<sup>er</sup> défaut</li> <li>■ Coupure au 2<sup>e</sup> défaut</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Coupure au 1<sup>er</sup> défaut d'isolement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Coupure au 1<sup>er</sup> défaut d'isolement</li> </ul>
<b>Technique de protection des personnes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Interconnexion et mise à la terre des masses</li> <li>■ surveillance du 1<sup>er</sup> défaut par contrôleur permanent d'isolement (CPI)</li> <li>■ Coupure au 2<sup>e</sup> défaut (disjoncteur ou fusibles)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mise à la terre des masses associée à l'emploi de dispositifs différentiels</li> <li>■ Coupure au 1<sup>er</sup> défaut par détection du courant de fuite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Interconnexion et mise à la terre des masses et du neutre impératives</li> <li>■ Coupure au 1<sup>er</sup> défaut par surintensité (disjoncteur ou fusible)</li> </ul>
<b>Avantages et inconvénients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Solution assurant la meilleure continuité de service (signalisation du 1<sup>er</sup> défaut)</li> <li>■ Nécessité d'un personnel de surveillance compétent (recherche du 1<sup>er</sup> défaut)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Solution la plus simple à l'étude et à l'installation</li> <li>■ Pas de surveillance permanente de l'isolement</li> <li>■ Mais chaque défaut amène une coupure de l'élément concerné</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Solution économique à l'installation</li> <li>■ Délicate à l'étude (difficulté de calcul des impédances de boucle)</li> <li>■ Personnel d'exploitation compétent</li> <li>■ Circulation de forts courants de défaut</li> </ul>

Fig. N23 : Principales caractéristiques des schémas des liaisons à la terre (SLT)

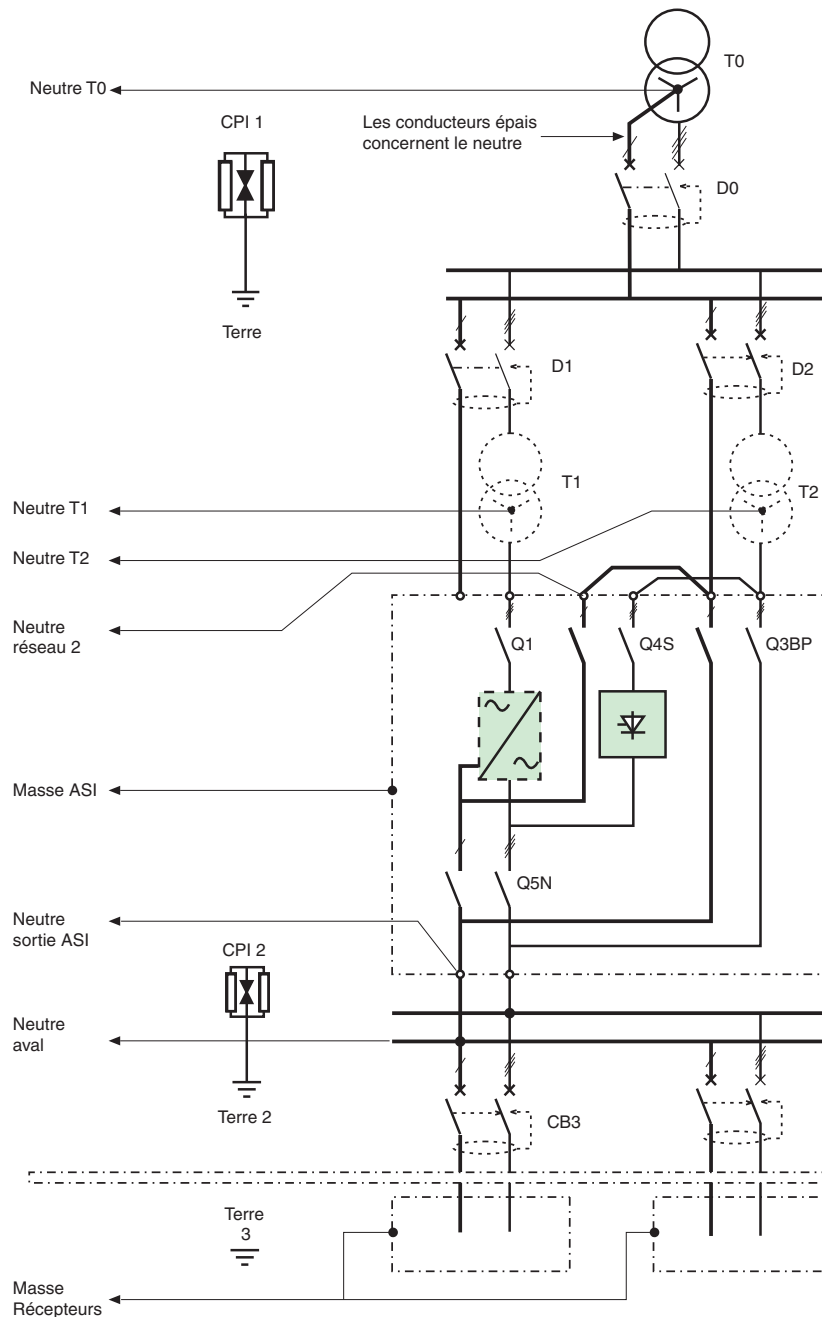
N18

**Remarque :** le schéma TN-S est le plus souvent recommandé dans le cas d'alimentation de systèmes informatiques.

## 2 Les alimentations sans interruption -ASI-

### Points essentiels à vérifier pour les ASI

La **Figure N24** montre tous les points essentiels à interconnecter ainsi que les dispositifs à installer (transformateurs, dispositifs différentiels, etc.) pour assurer la conformité de l'installation avec les normes de sécurité.



**Fig. N24** : Les points essentiels à connecter dans les schémas de liaison à la terre

## 2.5 Protection de l'installation

Le calcul de l'installation doit être fait en fonction des règles d'installation en vigueur (voir chapitre G). Ce paragraphe précise les réglages particuliers des protections dans le cadre d'une alimentation par une ASI. Les disjoncteurs ont un rôle essentiel dans une installation, mais leur importance n'apparaît le plus souvent que lors de phénomènes accidentels et peu fréquents. Le meilleur calcul d'ASI et le meilleur choix de configuration peuvent être compromis par une erreur dans la détermination d'un seul disjoncteur.

### Choix des disjoncteurs

La Figure N25 résume les étapes conduisant au choix des disjoncteurs.

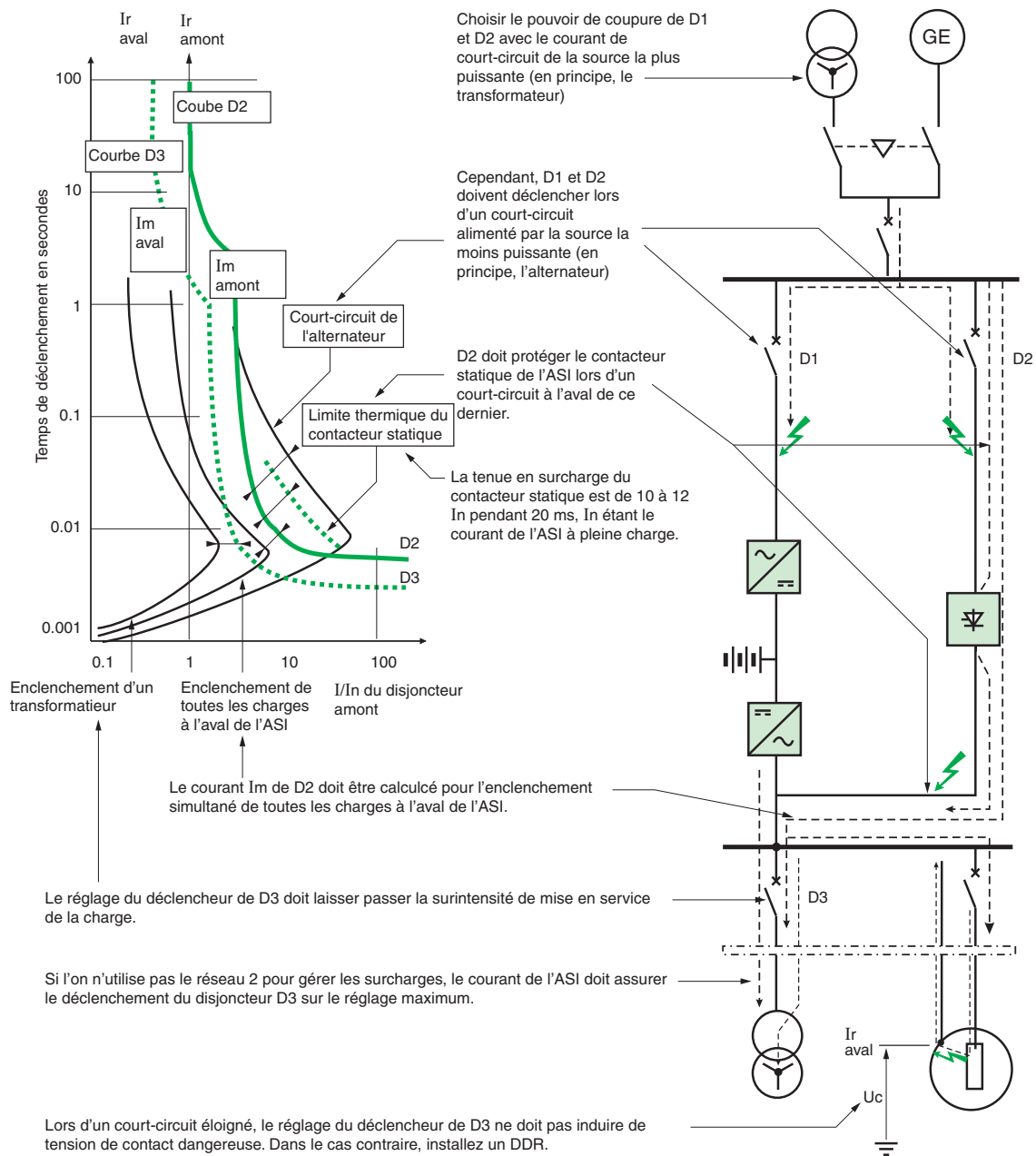


Fig. N25 : Les diverses conditions auxquelles sont soumis les disjoncteurs

## 2 Les alimentations sans interruption -ASI-

### Choix du calibre

Le calibre (courant assigné  $I_n$ ) doit avoir la valeur immédiatement supérieure au courant assigné du câble aval protégé.

### Choix du pouvoir de coupure

Le pouvoir de coupure doit avoir la valeur immédiatement supérieure au courant de court-circuit pouvant survenir au point d'installation.

### Choix des seuils $I_r$ et $I_m$

Le tableau de la **Figure N26** donne les règles permettant de déterminer les seuils  $I_r$  (surcharge ; thermique ou long retard) et  $I_m$  (court-circuit ; magnétique ou court retard) en fonction des déclencheurs amont et aval pour permettre la sélectivité.

#### Remarques

- La sélectivité chronométrique doit être mise en œuvre par du personnel qualifié, car toute temporisation du déclenchement augmente la contrainte thermique ( $I^2t$ ) à l'aval (câbles, semi-conducteurs, etc.). Il convient d'être très prudent si l'on retarde le déclenchement de D2 par la temporisation du seuil  $I_m$ .
- La sélectivité énergétique est indépendante du déclencheur et ne concerne que le disjoncteur.

Nature du départ aval	Rapport $I_r$ amont / $I_r$ aval	Rapport $I_m$ amont / $I_m$ aval	Rapport $I_m$ amont / $I_m$ aval
Déclencheur aval	Tous types	Magnétique	Electronique
Distribution	> 1,6	> 2	> 1,5
Moteur asynchrone	> 3	> 2	> 1,5

Fig. N26 : Seuils  $I_r$  et  $I_m$  en fonction des déclencheurs amont et aval

### Cas particulier de l'alternateur en court-circuit

La **Figure N27** montre le comportement d'un alternateur en court-circuit. Afin de s'affranchir de l'incertitude éventuelle sur le type d'excitation, il est nécessaire de déclencher sur la première pointe d'intensité du courant de défaut ( $3$  à  $5 I_n$  selon  $X^{\circ}d$ ) à l'aide de la protection  $I_m$ , non temporisée.

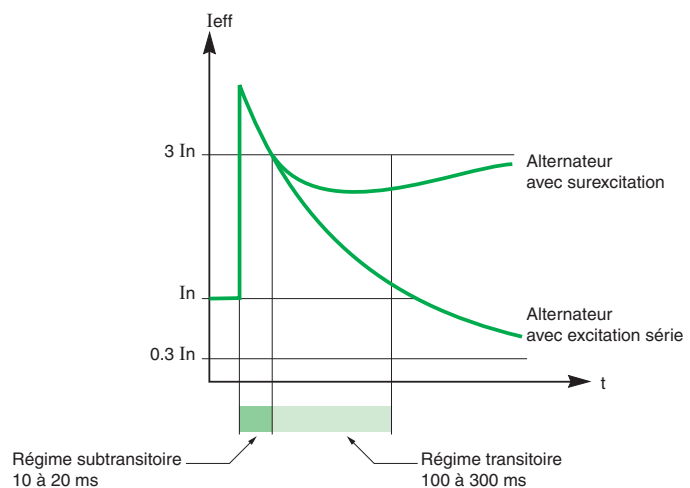


Fig. N27 : L'alternateur en court-circuit

N21

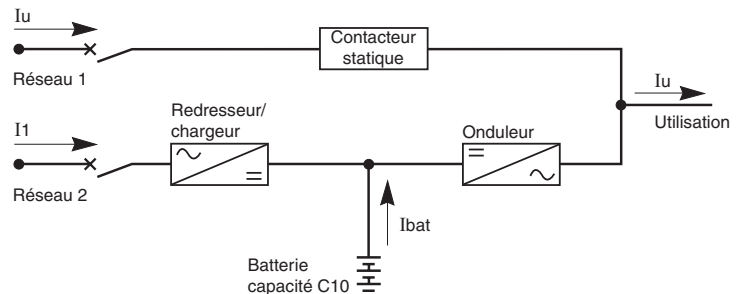
## 2.6 Installation, raccordement et choix de la section des câbles

### Onduleurs prêts à raccorder

Les onduleurs des installations de petite puissance, concernant par exemple des matériels de micro-informatique, sont livrés sous forme de modules compacts en châssis, prêts à raccorder. Le câblage interne est réalisé en usine et adapté aux caractéristiques des constituants.

### Onduleurs non prêts à raccorder

Pour les autres onduleurs, il y a lieu de prévoir les câbles de raccordement du réseau au chargeur, à l'utilisation et à la batterie. Les câbles de raccordement dépendent des courants mis en jeu, comme indiqué dans la **Figure N28** ci-après.



**Fig.N28** : Courants à prendre en compte pour le choix des câbles

### Calcul des courants $I_1$ , $I_u$

- Le courant  $I_u$  en fonctionnement sur alimentation réseau est directement lié à l'utilisation.
- Le courant  $I_1$  à l'entrée du redresseur chargeur dépend :
  - de la capacité de la batterie ( $C_{10}$ ) et de son régime de charge ( $I_b$ ),
  - des caractéristiques du chargeur,
  - du rendement de l'onduleur.
- Le courant  $I_{bat}$  est le courant dans le conducteur de raccordement à la batterie. Ces courants sont fournis par les constructeurs.

### Chute de tension et échauffement des câbles

La section des câbles dépend :

- de l'échauffement admissible,
- de la chute de tension admissible.

Chacun de ces deux paramètres conduira, pour une alimentation donnée, à une section minimale admissible. C'est, bien entendu, la plus importante de ces deux sections qui devra être utilisée.

Il faut aussi tenir compte, pour la définition du cheminement des câbles, de la distance à respecter entre les circuits "courants faibles" et les circuits de "puissance" de façon à éviter l'influence des courants parasites HF.

### Echauffement

L'échauffement admissible dans les câbles est limité par la tenue des isolants.

L'échauffement des câbles dépend :

- de la nature de l'âme (Cu ou Al),
- du mode de pose,
- du nombre de câbles jointifs.

Les normes donnent, pour chaque type de câble, l'intensité maximale admissible.

### Chutes de tension

Les chutes de tension maximales admissibles sont :

- 3 % sur les circuits alternatifs 50 ou 60 Hz,
- 1 % sur les circuits continus.

## 2 Les alimentations sans interruption -ASI-

### Tableaux de choix

La **Figure N29** donne la chute de tension en % pour un circuit de 100 m de câble. Pour calculer la chute de tension dans un circuit de longueur L, multiplier la valeur du tableau par L/100.

- Sph : section des conducteurs
- In : courant nominal des protections du circuit considéré

### Circuit triphasé

Si la chute de tension dépasse 3 % (50-60 Hz), augmenter la section des conducteurs.

### Circuit continu

Si la chute de tension dépasse 1 %, augmenter la section des conducteurs.

**a - Circuit triphasé (conducteurs en cuivre)**  
50-60 Hz - 380 V / 400 V / 415 V triphasé,  $\cos \varphi = 0,8$ , système équilibré tri + N

In (A)	Sph (mm <sup>2</sup> )											
	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
10	0,9											
15	1,2											
20	1,6	1,1										
25	2,0	1,3	0,9									
32	2,6	1,7	1,1									
40	3,3	2,1	1,4	1,0								
50	4,1	2,6	1,7	1,3	1,0							
63	5,1	3,3	2,2	1,6	1,2	0,9						
70	5,7	3,7	2,4	1,7	1,3	1,0	0,8					
80	6,5	4,2	2,7	2,1	1,5	1,2	0,9	0,7				
100	8,2	5,3	3,4	2,6	2,0	2,0	1,1	0,9	0,8			
125		6,6	4,3	3,2	2,4	2,4	1,4	1,1	1,0	0,8		
160			5,5	4,3	3,2	3,2	1,8	1,5	1,2	1,1	0,9	
200				5,3	3,9	3,9	2,2	1,8	1,6	1,3	1,2	0,9
250					4,9	4,9	2,8	2,3	1,9	1,7	1,4	1,2
320							3,5	2,9	2,5	2,1	1,9	1,5
400							4,4	3,6	3,1	2,7	2,3	1,9
500								4,5	3,9	3,4	2,9	2,4
600									4,9	4,2	3,6	3,0
800										5,3	4,4	3,8
1,000											6,5	4,7

Pour un circuit triphasé 230 V, multiplier le résultat par  $\sqrt{3}$

Pour un circuit monophasé 208/230 V, multiplier le résultat par 2

**b - Circuit continu (conducteurs en cuivre)**

In (A)	Sph (mm <sup>2</sup> )											
	-	-	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
100			5,1	3,6	2,6	1,9	1,3	1,0	0,8	0,7	0,5	0,4
125				4,5	3,2	2,3	1,6	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5
160					4,0	2,9	2,2	1,6	1,2	1,1	0,6	0,7
200						3,6	2,7	2,2	1,6	1,3	1,0	0,8
250							3,3	2,7	2,2	1,7	1,3	1,0
320								3,4	2,7	2,1	1,6	1,3
400									3,4	2,8	2,1	1,6
500										3,4	2,6	2,1
600										4,3	3,3	2,7
800											4,2	3,4
1 000											5,3	4,2
1 250												5,3

**Fig. N29** : Chute de tension en % pour [a] circuits triphasés et [b] circuit CC

### Cas particulier du conducteur neutre

Sur les réseaux triphasés, les courants d'harmonique 3 (et de ses multiples) des charges monophasées s'additionnent dans le conducteur neutre (somme des courants des 3 phases).

Ceci conduit à adopter la règle : section du neutre = 1,5 x section d'une phase.

N23

**Exemple**

Soit à choisir le câble pour un circuit triphasé 400 V de 70 m de long, réalisé avec des conducteurs en cuivre et dont l'intensité nominale est de 600 A.

Les normes d'installation donnent, en fonction du mode de pose et de l'utilisation, une section minimale. Supposons que cette section minimale soit 95 mm<sup>2</sup>. Vérifions que la chute de tension reste inférieure à 3 %.

Le tableau de la Figure N29 pour les circuits triphasés donne, pour un courant de 600 A circulant dans un câble de 300 mm<sup>2</sup>, une chute de tension pour 100 m de câble égale 3 % soit pour 70 m :

$$3 \times \frac{70}{100} = 2,1 \%$$

donc en dessous du seuil limite de 3 %.

Un calcul identique peut être fait pour un courant continu de 1 000 A. Dans un câble de 10 m, la chute de tension pour 100 m de section 240 mm<sup>2</sup> est de 5,3 % soit pour 10 m :

$$5,3 \times \frac{10}{100} = 0,53 \%$$

donc en dessous du seuil limite de 3 %.

**2.7 Les ASI et leur environnement**

Les onduleurs peuvent communiquer avec d'autres équipements, notamment les équipements informatiques. Ils peuvent transmettre des informations d'état et recevoir des ordres quant à leur fonctionnement afin :

- d'optimiser la protection

L'onduleur transmet par exemple des informations sur son fonctionnement (normal, en autonomie, pré-alarme de fin d'autonomie...) à l'ordinateur qu'il alimente ; ce dernier en déduit des fonctionnements appropriés,

- de contrôler à distance

L'onduleur transmet des informations d'état et de mesure à un opérateur qui peut télécommander certaines actions,

- de gérer l'installation

L'utilisateur dispose d'une GTC (gestion technique centralisée) qui lui permet d'acquérir des informations de la part des onduleurs, de les mémoriser, de signaler les anomalies, de présenter des états ou synoptiques, de commander des actions.

Cette évolution générale vers une compatibilité entre divers équipements de systèmes complexes de traitement de l'information (interopérabilité) se traduit par l'incorporation dans les onduleurs de nouvelles fonctions.

**2.8 Equipements complémentaires**

**Transformateurs**

La présence d'un transformateur à enroulements séparés sur la liaison Réseau 2-contacteur statique permet principalement :

- un changement de tension lorsque celle du réseau d'alimentation est différente de celle du réseau d'utilisation,
- un changement de régime de neutre entre les réseaux d'alimentation.

De plus ce transformateur :

- réduit le niveau du courant de court-circuit au secondaire (c'est à dire sur les charges) par rapport à celui du réseau amont (au primaire),
- évite aux courants harmoniques 3 et multiples de 3, qui peuvent être présents au secondaire, de circuler sur le réseau amont du fait des bobinages au primaire connectés en delta.

**Filtre anti-harmonique**

Une ASI comporte un chargeur de batterie qui est contrôlé par des thyristors ou des transistors. Le découpage du courant génère des distorsions en tension et donc des composantes harmoniques dans le réseau d'alimentation. Pour pallier ces phénomènes, les onduleurs sont munis, d'origine, d'un filtre d'entrée qui est suffisant dans la plupart des cas.

Dans certains cas spécifiques d'installations de très forte puissance, un filtre complémentaire peut être nécessaire.

C'est le cas lorsque :

- l'onduleur a une puissance importante vis-à-vis de celle du transformateur de tête d'installation du réseau,

N24

## 2 Les alimentations sans interruption -ASI-

- le jeu de barres comporte des équipements sensibles aux harmoniques,
- un groupe de reprise est prévu en tête d'installation.

Consulter les constructeurs.

### Équipements de communication

La communication avec les équipements des systèmes liés à l'informatique peut amener à équiper les onduleurs d'équipements de communication. Ces derniers peuvent être incorporés d'origine (cf. **Fig. N30a**), ou rajoutés sur demande (cf. **Fig. N30b**).



**Fig. N30a** : Onduleur prêt à raccorder (avec module DIN)



**Fig. N30b** : Onduleur réalisant la disponibilité et la qualité de l'énergie qui alimente des ordinateurs

### 3 La protection des transformateurs BT/BT

Ces transformateurs, dont la puissance varie de quelques centaines de VA à quelques centaines de kVA, sont fréquemment utilisés pour :

- changer de tension :
- les circuits auxiliaires de commande et de contrôle,
- les circuits d'éclairage (créer un réseau 230 V quand le réseau (au primaire) est un réseau 400 V triphasé sans neutre).
- changer le schéma des liaisons à la terre des charges ayant des courants importants de fuite à la terre, capacitifs (équipement de traitement de l'information, PC, etc.) ou résistifs (fours électriques, équipements pour chaufferie industrielle, pour cantines, etc.). Les transformateurs BT/BT sont livrés généralement avec un système de protection intégré, et les constructeurs doivent être consultés pour plus de détails. Dans tous les cas, une protection contre les surintensités doit être installée au primaire. L'exploitation de ces transformateurs nécessite la connaissance de leur fonction particulière ainsi que certains points développés ci-après.

**Note :** dans les cas particuliers de transformateurs d'isolement de sécurité TBT, un écran métallique entre primaire et secondaire est souvent exigé, suivant l'application, comme recommandé dans la norme CEI 61558 -2-6 et la norme européenne EN 61558-2-6 (NF C 52-742) (voir paragraphe 3.5 du chapitre F).

#### 3.1 Pointes de courant à l'enclenchement

A leur mise sous tension, il se produit des appels de courant très importants (appelés "pointes d'enclenchement") dont il faut tenir compte dans la définition des appareils de protection de surintensité (cf. Fig. N31).

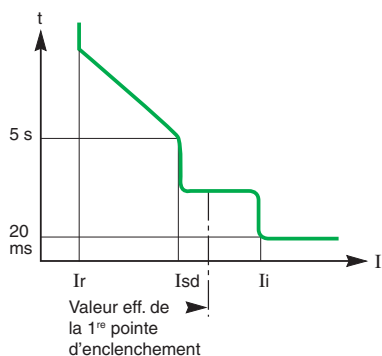


Fig. N32 : Courbe de déclenchement d'un disjoncteur Compact NSX équipé d'un déclencheur Micrologic.

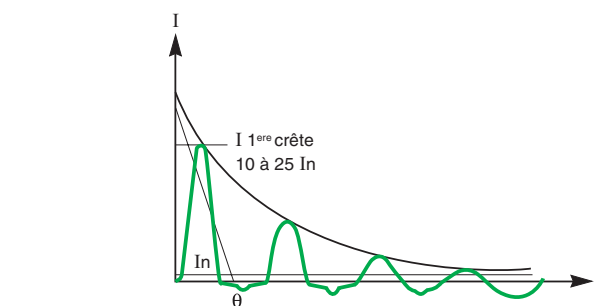


Fig. N31 : Régime transitoire du courant à l'enclenchement d'un transformateur

L'amplitude dépend :

- de la tension du réseau au moment de la mise sous tension,
- de l'induction rémanente dans le circuit magnétique,
- des caractéristiques et de la charge du transformateur.

La première crête de courant atteint fréquemment 10 à 15 fois le courant efficace assigné du transformateur, et pour des petites puissances (< 50 kVA), atteint fréquemment des valeurs 20 à 25 fois le courant nominal. Ce courant d'enclenchement s'amortit très rapidement avec une constante de temps  $\theta$  de l'ordre de quelques ms à quelques dizaines de ms.

#### 3.2 Choix de la protection d'un départ alimentant un transformateur BT/BT

L'appareil de protection placé sur un départ alimentant un transformateur BT/BT doit éviter tout déclenchement intempestif lors de sa mise sous tension ; on utilise en conséquence :

- soit des disjoncteurs sélectifs (avec une légère temporisation pour la protection Court retard) de la gamme Compact NSX (cf. Fig. N32),
- soit des disjoncteurs à seuil de déclenchement élevé : Multi 9 courbe D (cf. Fig. N33).

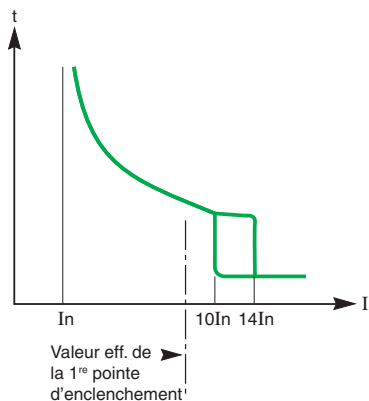


Fig. N33 : Caractéristiques de déclenchement d'un disjoncteur Multi 9 courbe D

N26

### 3 La protection des transformateurs BT/BT

#### Exemple 1

Un circuit alimentant un transformateur 400/230 V, 125 kVA ( $I_n = 180$  A) pour lequel la première pointe d'enclenchement du courant peut atteindre  $12 I_n$ , soit  $12 \times 180 = 2160$  A.

Cette valeur crête correspond à une valeur efficace de 1530 A.

Un disjoncteur Compact NSX 250 N équipé d'un déclencheur Micrologic 2 est adapté à la protection du transformateur avec :

- un réglage de la protection Long retard à 200 A,
- un réglage de la protection Court retard  $8 \times I_r$ .

#### Exemple 2 : protection contre les surcharges installée au secondaire du transformateur (cf. Fig. N34)

L'avantage d'installer une protection contre les surintensités au secondaire d'un transformateur est qu'il peut être protégé au primaire par une protection spécifique (de type moteur) à seuil de déclenchement Instantané ou magnétique élevé, soit :

- de type électronique Instantané (par exemple Compact NSX avec déclencheur Micrologic 1.3),
- de type magnétique (par exemple Compact NSX avec déclencheur MA).

Le réglage de la protection contre les courts-circuits au primaire doit aussi être effectué de manière à assurer le fonctionnement du disjoncteur en cas de court-circuit au secondaire du transformateur.

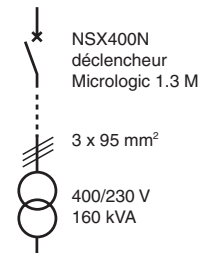


Fig. N34 : Exemple

**Nota** : la protection primaire est parfois réalisée avec des fusibles de type aM. Cette solution présente deux inconvénients :

- les fusibles doivent être très fortement surcalibrés (au moins 4 fois le courant nominal du transformateur),
- pour réaliser au primaire les fonctions de commande et sectionnement, ils doivent être associés à un interrupteur ou un contacteur lui-aussi fortement surcalibré.

### 3.3 Caractéristiques électriques à 50 Hz des transformateurs BT/BT

#### Triphasé

puissance en kVA	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
pertes à vide (W)	100	110	130	150	160	170	270	310	350	350	410	460	520	570	680	680	790	950	1160	1240	1485	1855	2160
Pertes en charge (W)	250	320	390	500	600	840	800	1180	1240	1530	1650	2150	2540	3700	3700	5900	5900	6500	7400	9300	9400	11400	13400
tension de cc (%)	4,5	4,5	4,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5	5	4,5	5	5	5,5	4,5	5,5	5	5	4,5	6	6	5,5	5,5

#### Monophasé

Puissance en kVA	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
Pertes à vide (W)	105	115	120	140	150	175	200	215	265	305	450	450	525	635
Pertes en charge (W)	400	530	635	730	865	1065	1200	1400	1900	2000	2450	3950	3950	4335
Tension de cc (%)	5	5	5	4,5	4,5	4,5	4	4	5	5	4,5	5,5	5	5

N27

### 3 La protection des transformateurs BT/BT

#### 3.4 Protection des transformateurs BT/BT par disjoncteurs Schneider Electric

##### Disjoncteurs Multi 9

Puissance du transformateur (kVA)			Appareil de protection disjoncteur courbe D ou K	Calibre (A)
230/240 V 1-ph	230/240 V 3-ph 400/415 V 1-ph	400/415 V 3-ph		
0,05	0,09	0,16	C60, NG125	0,5
0,11	0,18	0,32	C60, NG125	1
0,21	0,36	0,63	C60, NG125	2
0,33	0,58	1,0	C60, NG125	3
0,67	1,2	2,0	C60, NG125	6
1,1	1,8	3,2	C60, C120, NG125	10
1,7	2,9	5,0	C60, C120, NG125	16
2,1	3,6	6,3	C60, C120, NG125	20
2,7	4,6	8,0	C60, C120, NG125	25
3,3	5,8	10	C60, C120, NG125	32
4,2	7,2	13	C60, C120, NG125	40
5,3	9,2	16	C60, C120, NG125	50
6,7	12	20	C60, C120, NG125	63
8,3	14	25	C120, NC100, NG125	80
11	18	32	C120, NC100, NG125	100
13	23	40	C120, NG125	125

##### Disjoncteurs Compact NSX100 à NSX250 avec déclencheur TM-D

Puissance du transformateur (kVA)			Appareil de protection disjoncteur	Déclencheur "type"
230/240 V 1-ph	230/240 V 3-ph 400/415 V 1-ph	400/415 V 3-ph		
3	5 à 6	9 à 12	NSX100F/N/H/S/L	TM16D
5	8 à 9	14 à 16	NSX100F/N/H/S/L	TM25D
7 à 9	13 à 16	22 à 28	NSX100F/N/H/S/L	TM40D
12 à 15	20 à 25	35 à 44	NSX100F/N/H/S/L	TM63D
16 à 19	26 à 32	45 à 56	NSX100F/N/H/S/L	TM80D
18 à 23	32 à 40	55 à 69	NSX160F/N/H/S/L	TM100D
23 à 29	40 à 50	69 à 87	NSX160F/N/H/S/L	TM125D
29 à 37	51 à 64	89 à 111	NSX250F/N/H/S/L	TM160D
37 à 46	64 à 80	111 à 139	NSX250F/N/H/S/L	TM200D

##### Disjoncteurs Compact NSX100 à Masterpact NW32 avec déclencheur Micrologic

Puissance du transformateur (kVA)			Appareil de protection disjoncteur	Déclencheur "type"	Réglage Ir max (A)
230/240 V 1-ph	230/240 V 3-ph 400/415 V 1-ph	400/415 V 3-ph			
4 à 7	6 à 13	11 à 22	NSX100F/N/H/S/L	Micrologic 2.2 ou 5.2 40	32
9 à 19	16 à 30	27 à 56	NSX100F/N/H/S/L	Micrologic 2.2 ou 5.2 100	80
15 à 30	5 à 50	44 à 90	NSX160F/N/H/S/L	Micrologic 2.2 ou 5.2 160	128
23 à 46	40 à 80	70 à 139	NSX250F/N/H/S/L	Micrologic 2.2 ou 5.2 250	200
37 à 65	64 à 112	111 à 195	NSX400F/N/H/S	Micrologic 2.3 ou 5.3 400	280
37 à 55	64 à 95	111 à 166	NSX400L	Micrologic 2.3 ou 5.3 400	240
58 à 83	100 à 144	175 à 250	NSX630F/N/H/S/L	Micrologic 2.3 ou 5.3 630	400
58 à 150	100 à 250	175 à 436	NS630bN/bH NT06H1	Micrologic 5.0/6.0/7.0	630
74 à 184	107 à 319	222 à 554	NS800N/H - NT08H1 - NW08N1/H1	Micrologic 5.0/6.0/7.0	800
90 à 230	159 à 398	277 à 693	NS1000N/H - NT10H1 - NW10N1/H1	Micrologic 5.0/6.0/7.0	1000
115 à 288	200 à 498	346 à 866	NS1250N/H - NT12H1 - NW12N1/H1	Micrologic 5.0/6.0/7.0	1250
147 à 368	256 à 640	443 à 1108	NS1600N/H - NT16H1 - NW16N1/H1	Micrologic 5.0/6.0/7.0	1600
184 à 460	320 à 800	554 à 1385	NW20N1/H1	Micrologic 5.0/6.0/7.0	2000
230 à 575	400 à 1000	690 à 1730	NW25N2/H3	Micrologic 5.0/6.0/7.0	2500
294 à 736	510 à 1280	886 à 2217	NW32N2/H3	Micrologic 5.0/6.0/7.0	3200

N28