

## 19.9. Les régimes de neutre en HTA

### 19.9.1. Généralités et critères de choix

#### 19.9.1.1. Introduction

Le choix de la mise à la terre du neutre des réseaux HTA et HTB a été longtemps un sujet de controverses, compte tenu de l'impossibilité de trouver un compromis unique pour les différents types de réseaux. L'expérience acquise permet aujourd'hui d'effectuer un choix pertinent en fonction des contraintes propres à chaque réseau. Ce chapitre présente et compare les différents types de liaison à la terre du neutre, qui se distinguent par leur mode de raccordement du point neutre et leur technique d'exploitation.

#### 19.9.1.2. Impédance de mise à la terre

Le potentiel du neutre peut être fixé par rapport à la terre par cinq méthodes différenciées par la nature (capacité, résistance, inductance), et la valeur (zéro à l'infini) de l'impédance  $Z_n$  de liaison que l'on connectera entre le neutre et la terre :

- $Z_n =$  : *neutre isolé*, pas de liaison intentionnelle,
- $Z_n$  est une *résistance* de valeur plus ou moins élevée,
- $Z_n$  est une *réactance*, de valeur faible en général,
- $Z_n$  est une *réactance de compensation (bobine de Petersen)*, destinée à compenser la capacité du réseau,
- $Z_n = 0$  : le neutre est relié directement à la terre.

#### Remarques :

Ce dernier régime de neutre ( $Z_n = 0$ ) n'est pas utilisé dans les réseaux HTA européens aériens ou souterrains, sauf en Angleterre. Il entraîne des courants de défaut élevé pouvant générer des dégâts importants (au niveau des prises de terre, des écrans des câbles, ...). Pour ces raisons, l'étude de ce type de schéma ne sera pas développée dans cet ouvrage. Par contre il est intéressant de noter qu'il est généralisé dans les réseaux aériens nord-américains à puissance de court-circuit peu élevée; le neutre est distribué et utilisé comme conducteur de protection avec mise à la terre à chaque poteau.

#### 19.9.1.3. Critères de choix

Les critères de choix concernent de multiples aspects :

- techniques (fonction du réseau, surtensions, courant de défaut, etc.) • d'exploitation (continuité de service, maintenance)
- de sécurité
- économiques (coûts d'investissements, d'exploitation)
- habitudes locales ou nationales.

En particulier, deux considérations techniques importantes sont contradictoires :

#### Réduire le niveau des surtensions

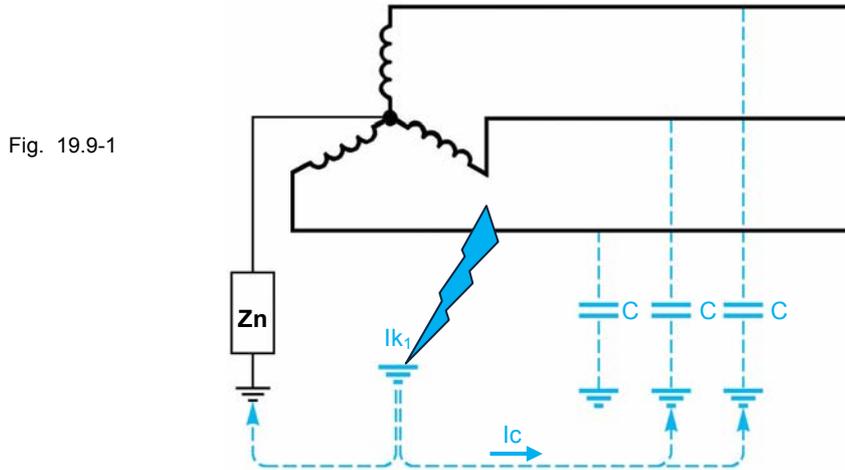
Des surtensions trop importantes sont à l'origine du claquage diélectrique des isolants électriques, avec des courts-circuits comme conséquence.

Les surtensions ont plusieurs origines :

- surtensions de foudre auxquelles sont exposés tous les réseaux aériens jusqu'au point de livraison aux usagers
- surtensions internes au réseau engendrées par les manœuvres et certaines situations critiques (résonances)
- surtensions résultant du défaut à la terre lui-même et de son élimination.

Réduire le courant de défaut à la terre ( $I_{k1}$ )

La circulation du courant de défaut à la terre est illustré par la figure ci-dessous. Sur ce schéma, les capacités C sont les capacités naturelles de fuite des câbles à la terre. Le courant  $I_c$  est le courant capacitif total du réseau se reboulant à travers les phases saines du réseau.



Un courant de défaut trop élevé entraîne de nombreuses conséquences :

- dégâts par l'arc au point de défaut (ex : fusion des circuits magnétiques des machines tournantes),
- tenue thermique des écrans de câble,
- dimensions et coût de la résistance de mise à la terre,
- induction dans les circuits de télécommunications voisins,
- danger pour les personnes, par élévation du potentiel des masses.

Malheureusement, l'optimisation de l'une de ces exigences entraîne automatiquement la dégradation de l'autre. Ainsi, deux méthodes typiques de mise à la terre du neutre accentuent ce contraste :

- le neutre isolé, qui supprime la circulation dans le neutre du courant de défaut terre mais génère des surtensions plus importantes
- le neutre à la terre direct, qui réduit au minimum les surtensions, mais provoque un courant de défaut élevé.

En ce qui concerne les considérations d'exploitation, selon le mode de liaison à la terre du neutre on aura :

- la possibilité ou non de fonctionner lors d'un premier défaut maintenu
- la valeur des tensions de contact développées
- la plus ou moins grande simplicité de mise en œuvre de la sélectivité des protections.

Ainsi le choix se portera souvent sur une solution intermédiaire de neutre relié à la terre par impédance.

Synthèse des caractéristiques des régimes de neutre

caractéristiques	régimes de neutre				
	isolé	compensé	résistance	réactance	direct
amortissement des surtensions transitoires	-	+ -	+	+ -	++
limitation des surtensions 50 Hz	-	-	+	+	+
limitation des courants de défaut	+	++	+	+	--
continuité de service (autorisation du non déclenchement au premier défaut)	+	+	-	-	-
protection sélective simple	-	--	+	+	+
dispense d'un personnel qualifié	-	-	+	+	+

Légende :           + bon                   - médiocre

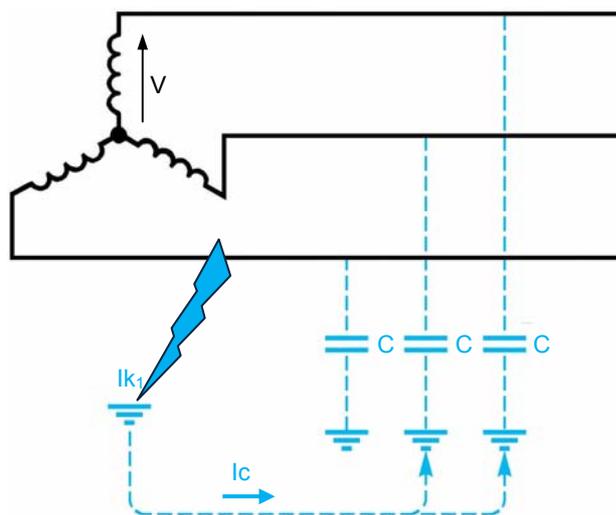
## 19.9.2. Neutre isolé

### 19.9.2.1. Schéma de principe

Ce schéma favorise la continuité de service en n'imposant pas le déclenchement sur un défaut 1<sup>ier</sup> défaut d'isolement. Ce dernier doit par contre être localisé et éliminé, un 2<sup>ième</sup> défaut sur une autre phase imposant le déclenchement.

Il n'existe aucune liaison électrique intentionnelle entre le point neutre et la terre, à l'exception des appareils de mesure ou de protection.

Fig. 19.9-2



Dans ce cas, le courant de défaut  $I_{k1}$  circule à travers les capacités de fuite des câbles de liaison.

### 19.9.2.2. Technique d'exploitation

Dans un tel réseau, un défaut phase-terre ne provoque qu'un faible courant par l'intermédiaire des capacités phase-terre des phases saines.

On démontre que  $I_{k1} = 3 C \omega V$  avec :

- $V$  étant la tension simple
- $C$  la capacité d'une phase par rapport à la terre
- $\omega$  la pulsation du réseau avec  $\omega = 2 \pi f$

Le courant de défaut  $I_{k1}$  peut subsister longtemps en principe sans dommages car il ne dépasse pas quelques ampères (2 A par km environ pour un câble unipolaire 6 kV de 150 mm<sup>2</sup> de section isolé au PRC dont la capacité est de 0,63 pF/km). Il n'est donc pas nécessaire d'intervenir pour éliminer ce premier défaut, ce qui confère à cette solution l'avantage essentiel de maintenir la continuité de service.

Mais ceci entraîne des conséquences :

- l'isolement doit être surveillé en permanence, et un défaut non encore éliminé doit être obligatoirement signalé par un **contrôleur permanent d'isolement** (CPI) ou par une protection à maximum de tension résiduelle (ANSI 59N),
- la recherche ultérieure du défaut exige d'une part un appareillage d'autant plus complexe qu'il est automatique, pour permettre une identification rapide du départ en défaut, et d'autre part un service entretien qualifié pour l'exploiter,
- au cas où le premier défaut n'est pas éliminé, un deuxième défaut survenant sur une autre phase va provoquer un véritable court-circuit biphasé par la terre, qui doit être éliminé par les protections de phase.

### 19.9.2.3. Avantages

L'avantage essentiel est la continuité de service du départ en défaut parce que le courant de défaut très faible permet de ne pas déclencher automatiquement au premier défaut; c'est un deuxième défaut qui nécessitera une coupure.

### 19.9.2.4. Inconvénients

Les principaux inconvénients de ce schéma sont :

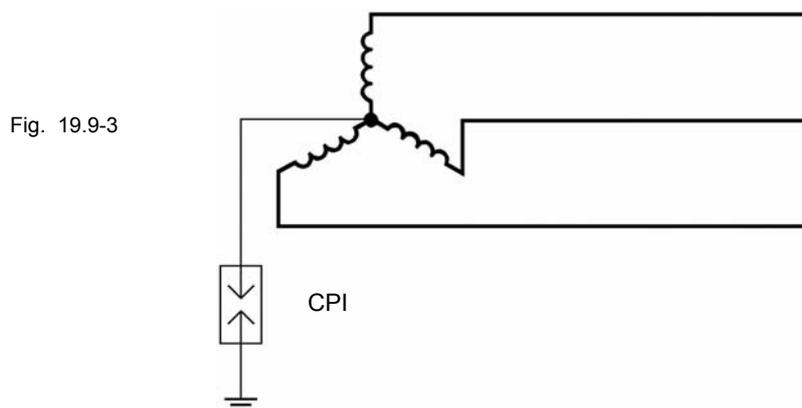
- la non-élimination des surtensions transitoires par écoulement à la terre est un handicap majeur si elles sont élevées.
- en cas de mise à la terre d'une phase, les autres phases se trouvent portées à la tension composée ( $U = \sqrt{3} V$ ) par rapport à la terre, ce qui renforce la probabilité d'un second défaut. Le coût d'isolement est plus élevé car la tension composée reste appliquée entre phase et terre pendant une durée qui peut être longue puisqu'il n'y a pas de déclenchement automatique.
- la surveillance de l'isolement est obligatoire, avec signalisation du premier défaut.
- un service entretien équipé du matériel adéquat pour la recherche rapide du premier défaut d'isolement est nécessaire.
- la mise en œuvre de protections sélectives au premier défaut est délicate.
- il y a des risques de surtensions créées par ferromagnétisme.

### 19.9.2.5. Surveillance et protections

Le décret de protection des travailleurs du 11 nov. 1988 impose, en régime de neutre IT, la détection du premier défaut d'isolement. Ce premier défaut n'empêche pas la poursuite de l'exploitation, mais la norme impose sa localisation et son élimination.

#### ❖ Contrôleur permanent d'isolement (CPI)

Le CPI, par exemple Vigilohtm XM200 ou XM300 pour les tensions inférieures à 1200V, surveille en permanence le niveau d'isolement du réseau et signale son passage en dessous d'un seuil préétabli.



#### ❖ Protection à maximum de tension résiduelle (ANSI 59)

Cette protection permet la détection d'un défaut d'isolement par la mesure du déplacement du point neutre.

#### ❖ Maximum de courant terre directionnelle (ANSI 67N)

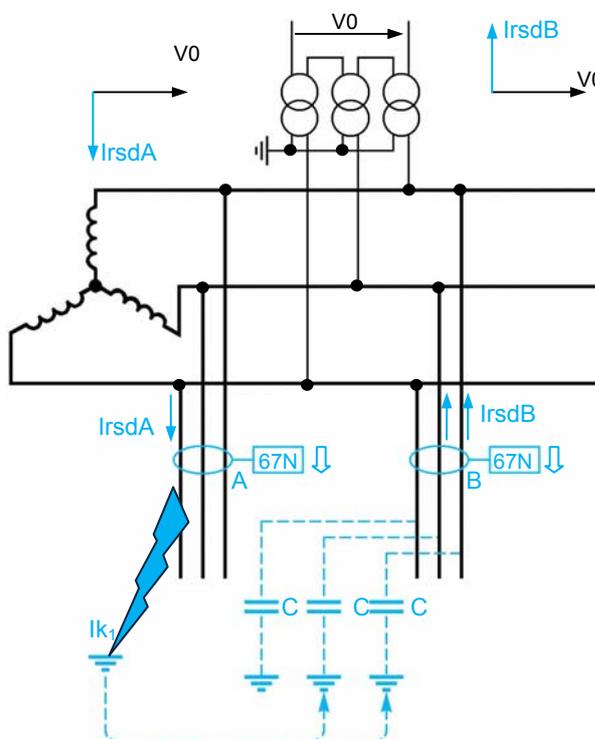
Cette protection permet la détection du départ en défaut (voir figure 19.9-4 page suivante)

La discrimination se fait par comparaison de l'angle de déphasage entre la tension résiduelle ( $V_0$ ) et les courants résiduels ( $I_{rsd}$ ), d'une part du départ en défaut et d'autre part de chaque départ sain.

La mesure du courant s'effectue par un tore dont le seuil est réglé pour ne pas déclencher intempestivement à une valeur inférieure à la somme des courants capacitifs de tous les autres départs.

Ceci rend la détection difficile pour les réseaux peu étendus (quelques centaines de mètres)

Fig. 19.9-4



### 19.9.2.6. Applications

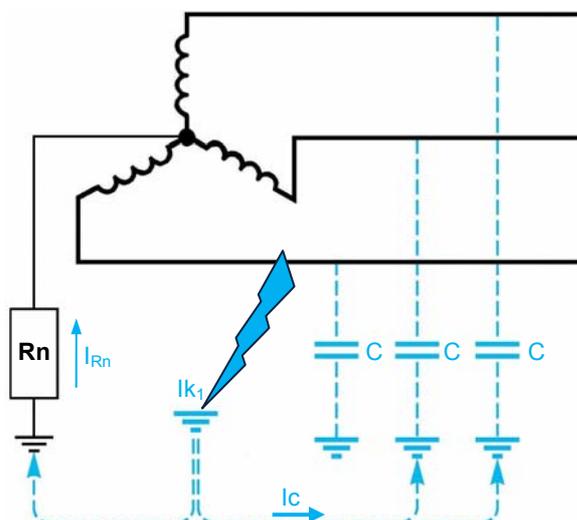
La solution distribution neutre isolé est souvent utilisée pour les réseaux industriels ( $\leq 15$  kV) nécessitant la continuité de service. C'est le cas pour les postes d'alimentation des engins de manutention levage.

### 19.9.3. Mise à la terre par résistance

#### 19.9.3.1. Schéma de principe

Dans ce cas, une résistance est connectée volontairement entre le point neutre et la terre. Ce schéma limite le courant de défaut à la terre et permet un bon écoulement des surtensions, mais il impose le déclenchement sur défaut.

Fig. 19.9-5



### 19.9.3.2. Technique d'exploitation

Dans ce type de schéma, l'impédance résistive limite le courant de défaut à la terre  $I_{k1}$ , tout en permettant un bon écoulement des surtensions.

Mais par conséquent, des protections doivent intervenir automatiquement pour éliminer le premier défaut. Dans les réseaux alimentant des machines tournantes, la valeur de la résistance est déterminée pour obtenir un courant  $I_{k1}$  de 15 à 50 A. Mais ce courant faible doit néanmoins vérifier  $I_{Rn} > 2 I_c$  (avec  $I_c$  : courant capacitif total du réseau) pour réduire les surtensions de manœuvre et permettre une détection simple.

Dans les réseaux de distribution, on adopte des valeurs plus élevées (100 A à 300 A) plus faciles à détecter et permettant l'écoulement des impulsions de foudre.

### 19.9.3.3. Avantages

Pour ce type de régime de neutre, on peut citer les avantages suivants :

- ce schéma est un bon compromis entre un courant du défaut faible et des surtensions bien écoulées,
- il n'exige pas l'emploi de matériels ayant un niveau d'isolement entre phase et terre dimensionné pour la tension composée,
- enfin, les protections sont simples, sélectives et le courant est limité.

### 19.9.3.4. Inconvénients

- La continuité de service du départ en défaut est moins bonne qu'en neutre isolé: le défaut terre doit être éliminé (coupure au premier défaut).
- Le coût de la résistance de mise à la terre croît avec la tension et le courant limité.

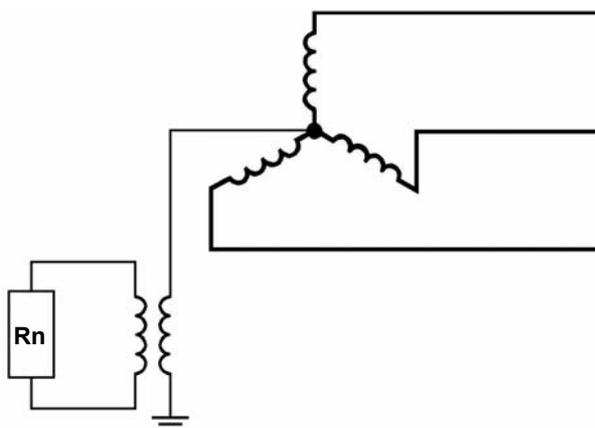
### 19.9.3.5. Réalisation de la mise à la terre du point neutre

#### ❖ Neutre du réseau accessible

Lorsque le neutre du réseau est accessible (existence d'enroulements couplés en étoile avec neutre sorti), la résistance de mise à la terre peut être branchée :

- soit directement entre le neutre et la terre (voir figure précédente 19.9-5),
- soit par l'intermédiaire d'un transformateur monophasé chargé au secondaire par une résistance équivalente (voir figure suivante 19.9-6).

Fig. 19.9-6



#### ❖ Neutre du réseau non accessible

Lorsque le neutre n'est pas accessible (enroulement en triangle) ou lorsque l'étude du plan de protection en démontre l'intérêt, on réalise un point neutre artificiel par un générateur homopolaire raccordé sur le jeu de barres.

Il est réalisé avec un transformateur spécial à très faible réactance homopolaire :

- transformateur étoile-triangle dont le neutre primaire est directement mis à la terre, et le triangle fermé sur résistance de limitation (isolement BT, donc solution la moins onéreuse) (fig. 19.9-7a)
- transformateur étoile triangle avec résistance de limitation (isolement HTA) entre le point neutre du primaire et la terre, et triangle fermé sur lui-même cette solution est moins utilisée (fig. 19.9-7b).

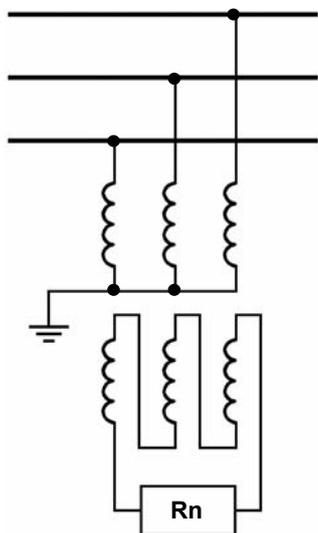


Fig. 19.9-7a

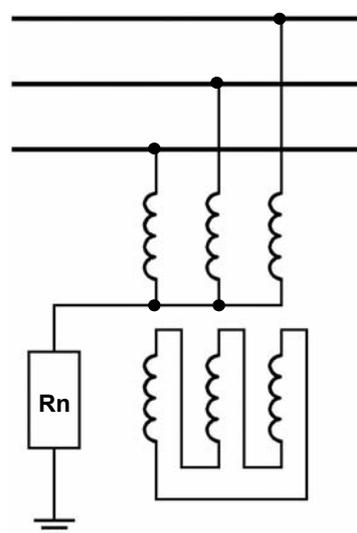


Fig. 19.9-7b

#### ❖ Dimensionnement de la résistance

La résistance doit supporter le courant permanent qui la traverse. Ce courant peut être provoqué par un défaut impédant ou un faible déplacement du point neutre dû à un déséquilibre des capacités des 3 phases du réseau.

On choisit en général une tenue permanente  $I_p = I_d/10$  ( $I_d$  = courant de limitation) pendant 2 à 5 secondes (supérieure au temps maximal d'élimination du défaut).

#### 19.9.3.6. Protections

La détection d'un courant de défaut  $I_{k1}$  faible nécessite des protections différentes de celles de surintensité phases (voir fig. 19.9-8).

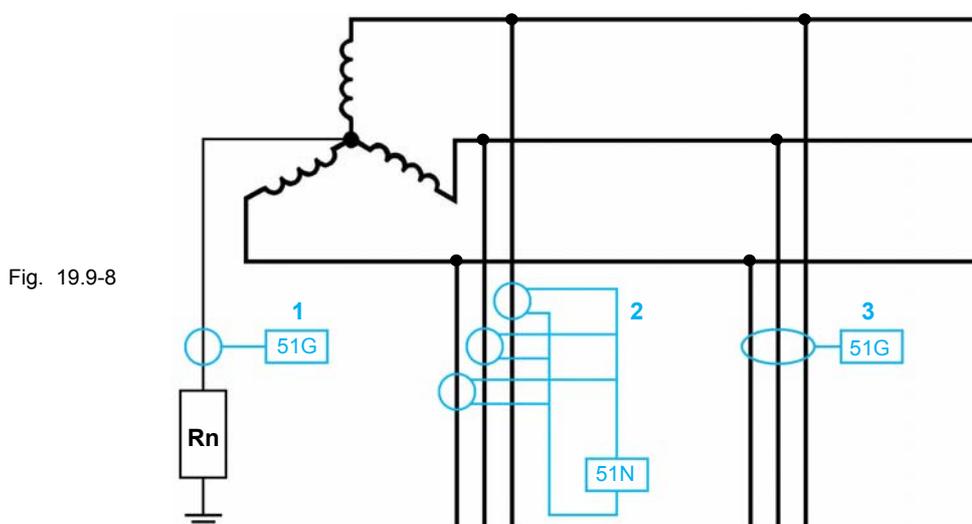


Fig. 19.9-8

Ces protections "de terre" détectent le courant de défaut :

- soit directement dans la liaison du neutre à la terre (cas 1)

- soit dans le réseau en mesurant la somme vectorielle des 3 courants en utilisant :
  - soit 3 capteurs de courant de phase alimentant les protections (cas 2)
  - soit un tore (cas 3) : mesure précise à utiliser de préférence.

Le réglage du seuil se fait en fonction du courant de défaut  $I_{k1}$  calculé en négligeant les impédances homopolaires de source et de liaison par rapport à l'impédance  $A_n$  et en tenant compte des 2 règles :

- réglage > 1,3 fois  $I$  capacif du réseau en aval de la protection
- réglage de l'ordre de 10 à 20 % du courant maximum de défaut à la terre.

De plus, si la détection est réalisée par 3 TC, le réglage se situe, avec les technologies actuelles, entre 5 et 30 % du calibre des TC pour tenir compte de l'incertitude liée à :

- l'asymétrie des courants transitoires
- la saturation des TC
- la dispersion des performances.

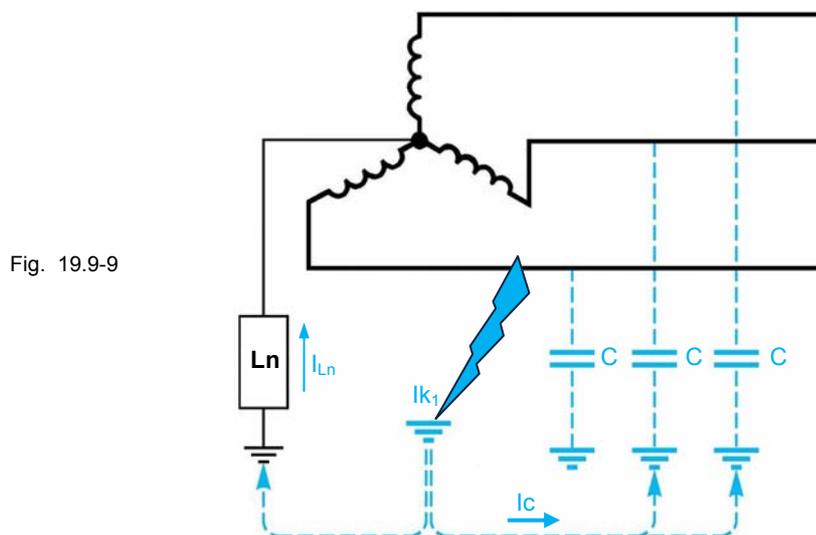
### 19.9.3.7. Applications

Réseaux HTA de distribution publique et industrielle.

### 19.9.4. Mise à la terre par réactance faible (neutre impédant)

#### 19.9.4.1. Schéma de principe

Ce schéma limite le courant de défaut à la terre et permet un bon écoulement des surtensions. Mais il impose le déclenchement sur défaut avec des valeurs élevées (ex : 300 ou 1000 A sur le neutre HTA des postes sources HTB/HTA)



Une réactance est intercalée volontairement entre le point neutre et la terre. Pour les réseaux de tension supérieure à 20 kV, on préfère en effet utiliser une réactance plutôt qu'une résistance pour des raisons de difficulté de réalisation dues au dégagement de chaleur en cas de défaut.

#### 19.9.4.2. Technique d'exploitation

Dans ce type de schéma, l'impédance selfique limite le courant de défaut à la terre  $I_{k1}$ , tout en permettant un bon écoulement des surtensions. Mais par conséquent, des protections doivent intervenir automatiquement pour éliminer le premier défaut.

Pour réduire les surtensions de manœuvre et permettre une détection simple, il faut que le courant  $I_{Ln}$  soit très supérieur au courant capacitif total du réseau  $I_c$ .

Dans les réseaux de distribution, on adopte des valeurs élevées (300 à 1000 A), faciles à détecter et permettant l'écoulement des surtensions de foudre.

#### 19.9.4.3. Avantages

Pour cet autre type de régime de neutre, on peut citer les avantages suivants :

- ce schéma permet de limiter l'amplitude des courants de défaut,
- il permet la mise en œuvre de protections sélectives simples si le courant de limitation est très supérieur au courant capacitif du réseau,
- la bobine de faible résistance, n'a pas à dissiper une puissance thermique élevée, ce qui réduit son dimensionnement,
- en HTA, le coût de cette solution est plus avantageux qu'avec une résistance.

#### 19.9.4.4. Inconvénients

Les principaux inconvénients de ce schéma sont :

- la continuité de service du départ en défaut est moins bonne qu'en neutre isolé : le défaut terre doit être éliminé (coupure au premier défaut),
- lors de la coupure pour l'élimination du défaut terre, des surtensions importantes peuvent apparaître, dues à des résonances entre la réactance et la capacité du réseau.

#### 19.9.4.5. Réalisation de la mise à la terre du point neutre

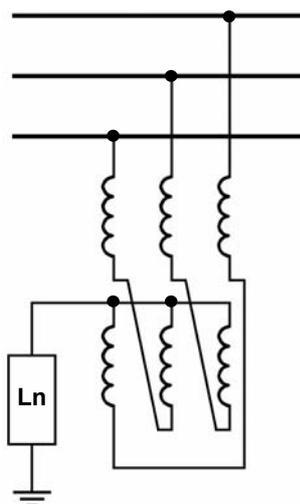
- Neutre du réseau accessible

Si le neutre du réseau est accessible (existence d'enroulements couplés en étoile avec neutre sorti), la résistance de mise à la terre peut être branchée entre neutre et terre.

- Neutre du réseau non accessible

Lorsque le neutre n'est pas accessible (enroulement en triangle) ou lorsque l'étude du plan de protection en démontre l'intérêt, on réalise un point neutre artificiel par une bobine de point neutre (BPN) raccordée sur le jeu de barres; elle est réalisée par une bobine zig-zag avec neutre sorti (voir figure 19.9-10 ci-dessous).

Fig. 19.9-10



L'impédance entre les deux parties de l'enroulement, essentiellement selfique et faible, limite le courant à des valeurs supérieures à 100 A.

L'ajout d'une résistance de limitation entre le point neutre de la bobine et la terre permet d'abaisser l'amplitude du courant de défaut (isolement HTA).

#### 19.9.4.6. Protections

Le réglage de la protection se situe au niveau de 10 à 20 % du courant de défaut  $I_{k1}$  maximum. Il faut également remarquer que dans le cas de mise à la terre du neutre par une impédance de faible valeur, la protection est moins contraignante que dans le cas de la mise à la terre par résistance, d'autant plus que le courant  $I_{Ln}$  est important puisque  $I_c$  est inférieur au courant limité.

#### 19.9.4.7. Applications

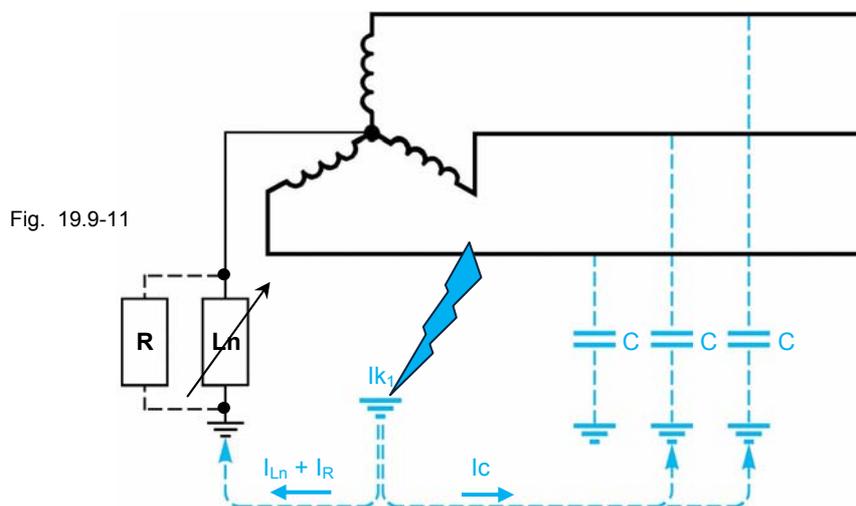
Réseaux HTA de distribution publique (courants de plusieurs centaines d'ampères).

### 19.9.5. Mise à la terre par réactance de compensation (neutre compensé)

#### 19.9.5.1. Schéma de principe

Ce régime dit de neutre compensé est particulièrement bien adapté aux réseaux de distribution HTA avec une valeur de courant capacitif  $I_c$  élevée.

La figure ci-dessous illustre le principe de ce régime de neutre.



La réactance est composée d'une résistance  $R$  en parallèle avec une inductance variable  $L_n$ . Elle est accordée sur la capacité phase-terre totale du réseau est intercalée entre le point neutre et la terre de sorte qu'en présence d'un défaut à la terre, le courant dans le défaut est voisin de zéro.

Sur le réseau de distribution en France :

- la résistance est dite résistance de point de neutre ( $R_{Pn}$ ) fixe, qui assure la circulation d'un courant actif de 20 A minimum (défaut franc),
- l'inductance est dite bobine de point neutre ( $B_{Pn}$ ) variable.

#### 19.9.5.2. Technique d'exploitation

Ce système permet de compenser le courant capacitif du réseau.

En effet, le courant de défaut est la somme des courants qui parcourent :

- la mise à la terre par réactance,
- les capacités des phases saines par rapport à la terre.

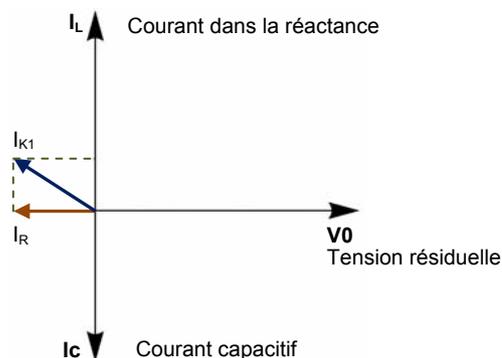
Ces courants se compensent puisque :

- l'un est selfique (dans la mise à la terre),
- l'autre est capacitif (dans les capacités des phases saines).

Ils s'ajoutent donc en opposition de phase.

En pratique, la faible valeur de la résistance fait circuler un petit courant résistif  $I_{k1}$  de quelques ampères (diagramme ci-dessous).

Fig. 19.9-12



Sur le réseau français, au niveau du poste source un système d'accord automatique (SAA) réalise périodiquement l'ajustement pour prendre en compte le changement de topologie du réseau, le désaccord maximum autorisé est de 40 A.

### 19.9.5.3. Avantages

Ce système présente les principaux avantages suivants :

- il permet de diminuer les courants de défaut même si la capacité phase-terre est grande : extinction spontanée des défauts à la terre non permanents,
- à l'endroit du défaut, les tensions de contact sont limitées,
- le maintien en service de l'installation est assuré malgré un défaut permanent
- le signalement du premier défaut est donné par la détection du passage du courant dans la bobine de point neutre.

### 19.9.5.4. Inconvénients

Les principaux inconvénients de ce régime de neutre sont :

- le coût peut être élevé en raison de la nécessité de modifier la valeur de la réactance pour ajuster la compensation,
- pendant la durée du défaut, il faut s'assurer que le courant résiduel circulant ne présente pas de danger pour les personnes et les biens,
- les risques de surtension transitoire sur le réseau sont importants,
- la mise en œuvre de protections sélectives au premier défaut est délicate.

### 19.9.5.5. Protection

La détection du défaut est basée sur la composante active du courant résiduel. En effet, le défaut provoque la circulation de courants résiduels dans l'ensemble du réseau, mais seul le circuit en défaut est parcouru par un courant résiduel résistif. De plus, les dispositifs de protection doivent tenir compte des défauts autoextincteurs répétitifs (défauts récurrents).

Lorsque la réactance de la mise à la terre et la capacité du réseau sont accordées nous avons la relation :

$$3 \cdot L_n \cdot C \cdot \omega^2 = 1$$

Avec pour caractéristiques :

- le courant de défaut est minimum,
- c'est un courant résistif,
- le défaut est autoextincteur.

La réactance est dite alors *bobine d'extinction*, ou *bobine de Petersen*.

### 19.9.5.6. Mise en place du neutre compensé en France

#### Raisons et avantages

Le régime de neutre compensé est mis en place en France par les distributeurs sur une partie du réseau HTA car il permet de maîtriser les niveaux des surtensions sur les prises de terre HTA et BT lors de défauts phase-terre.

Il permet ainsi de mieux prendre en compte :

- les évolutions des normes européennes (aspect sécurité des personnes),
- la sensibilité accrue de certaines charges (charges informatique, proximité de réseaux de télécommunications),
- le niveau d'isolement des matériels HTA et BT (ex: transformateur HTA/BT).

Le régime de neutre compensé améliore de la qualité de la fourniture d'énergie car il entraîne une diminution du nombre de coupures brèves par :

- une augmentation du taux de défauts fugitifs ("auto-extinction" du défaut sans action de la protection amont),
- une diminution du nombre de défauts évolutifs, défauts phase-terre qui évoluent en défauts entre phases.

#### Problèmes possibles avec les régimes actuels

Avant 2001 début du déploiement du neutre compensé, le réseau HTA utilisait essentiellement 2 régimes de neutre limitant le courant de défaut à la terre à :

- 300 A pour les réseaux aéro-souterrains (réseaux urbains et péri-urbains)
- 1000 A pour les réseaux souterrains (réseaux urbains).

Une partie importante du réseau aérien 20 kV passant en souterrain pour améliorer la fourniture, cela crée deux types de problèmes liés :

- *limitation insuffisante des défaut terre*

La résistances de terre des ouvrages HTA des réseaux aériens peut atteindre une valeur de 30 à 60 $\Omega$ . En cas de défaut franc à la terre, au courant de défaut (courant de limitation 300 A ou 1000 A) s'ajoute la somme des courants capacitifs de l'ensemble des départs du poste source (ordre de 3A/km pour des câbles 20kV).

Avec les longueurs de câbles enterrés ajoutées, ce courant capacitif total a notablement augmenté, rendant la limitation insuffisante.

- *montée en potentiel des masses HTA et BT*

Lorsqu'un défaut de terre apparaît à proximité ou dans le poste HTA/BT, le courant de défaut crée une montée en potentiel des prises de terre. Elle est d'autant plus importante que la capacité homopolaire globale du réseau est élevée. L'augmentation des longueurs de câbles va donc accroître cette montée en potentiel avec des répercussions chez les clients par :

- amorçage possible de la HTA vers la BT entraînant la circulation d'un courant de défaut terre dans le neutre BT
- couplage entre les prises de terre des clients BT ou du neutre BT avec la prise de terre du poste HTA/BT engendrant des surtensions.

La mise en place d'un régime de neutre compensé sur les réseaux présentant ces risques réduit le courant de défaut à la terre et cette montée en potentiel.

#### Mode de compensation utilisé

Le neutre est mis à la terre par une impédance de compensation variable ( $I_{CV}$ ) et son système d'accord automatique (SAA). Le courant de défaut est très faible (< 40 A), la tension d'arc au droit du défaut est minimale, ce qui permet un rétablissement spontané de l'isolement diélectrique (défaut "auto-extincteur")

### 19.9.5.7. Conséquence de la mise en place du neutre compensé sur les postes HTA

Suivant le réseau alimenté par le poste source, 3 cas de figure se présentent :

- réseau souterrain (poste urbain) : le régime de neutre actuel est conservé, neutre limité 300 A ou 1000 A.
- réseau aéro-souterrain à forte majorité souterraine (poste péri-urbain principalement) : modification du régime de neutre actuel par l'ajout d'une bobine fixe dans le point neutre pour limiter le courant à 150 A.

Cette évolution n'a pas d'impact sur la protection C 13-100 ou sur les protections du client HTA.

- réseau aéro-souterrain à forte majorité aérienne (poste rural principalement) : modification du régime de neutre actuel pour passer en régime de neutre compensé. Dans ce cas une protection wattmétrique homopolaire ou PWH<sup>(1)</sup> est nécessaire au niveau du poste de livraison HTA.

Cette évolution est résumée par les tableaux ci-après.

#### Impact sur la protection générale C 13-100

poste de livraison à comptage BT: protection par fusibles inchangée		
poste de livraison à comptage HTA avec protection générale par disjoncteur: selon le cas		
alimentation du poste	sans alimentation auxiliaire	avec alimentation auxiliaire
relais à mettre en place	<ul style="list-style-type: none"> <li>relais existant conservé (fonction 51 uniquement)</li> <li>ajout d'un relais réalisant les fonctions 51 N et PWH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>remplacement du relais existant par un relais réalisant les fonctions 51. 51 N et PWH</li> </ul>

#### Impact sur le plan de protection "terre" de l'installation HTA C 13-200

type d'installation	application non sensible départs protection inter-fusibles réseau HTA peu étendu	application sensible (Industrie à process, hôpital...) départ protection disjoncteur HTA réseau HTA étendu
plan de protection	<ul style="list-style-type: none"> <li>conserver les 51 N en place</li> <li>ajout de 51 N sur départs interfusibles</li> <li>sélectivité logique ou chronométrique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ajout sur les départs de 67NC</li> <li>paramétrer la 51 N avec les réglages actuels (sélectif avec 51N de la protection générale C13 100)</li> <li>sélectivité logique ou chronométrique</li> </ul>
impact sur les capteurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>protection sur tore (meilleure sensibilité)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>protection sur tore, sinon somme des 3TC + tore CSH30 TP pour la mesure de Vrésiduel, (TP avec 2 enroulements secondaires : 1 protection et 1 comptage)</li> </ul>
produits	<ul style="list-style-type: none"> <li>RH110, VIP50 sur départs interfusibles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sepam série 40 ou 80 (applications avec 67N)</li> <li>Sepam 2000 (application spécifique)</li> </ul>
commentaires sur la sélectivité	Sélectivité partielle sur : - défauts résistants - défauts récurrents (non détection)	Sélectivité totale avec la protection C 13-100, et avec le poste source en fonction du réglage de la 67N

#### Remarques

<sup>(1)</sup> PWH : Avec le régime de neutre compensé, le courant résiduel dans le départ en défaut peut-être plus faible que le courant capacitif dans les départs sains. L'utilisation des protections à maximum de courant résiduel devient alors impossible. L'utilisation des directionnelles de terre permet d'être insensible au courant capacitif qui circule dans les départs sains.

Elle autorise ainsi un réglage sensible pour détecter la composante active du courant résiduel présente uniquement dans le départ en défaut. Cependant, le critère directionnel n'est pas suffisant, la protection doit être capable de détecter les défauts récurrents et caractérisés par une succession de réamorçages de courte durée.

La PWH (67N) intègre la directionnelle de terre et la détection des défauts récurrents.

## 19.9.6. Les origines et conséquences des défauts

### 19.9.6.1. Les origines des défauts

Les origines des défauts sont multiples. Nous en évoquerons ici quelques unes de celles rencontrées le plus fréquemment dans les installations électriques de distribution et les équipements industriels de contrôle commande. Cette énumération n'est évidemment pas exhaustive.

#### Sur les câbles

Les défauts d'isolement peuvent par exemple être provoqués par :

- les rongeurs,
- pour les câbles souterrains les engins mécaniques de terrassement par exemple, qui entraînent des défauts de CC des engins de Travaux Publics à l'occasion de la réalisation d'une tranchée,
- des pollutions chimiques ...

#### Sur les moteurs et les générateurs

Les défauts d'isolement les plus fréquents proviennent :

- de la dégradation des bobinages suite à des bavures sur les tôles des encoches,
- ou à des contacts intempestifs entre les bornes de raccordement,
- ou à la perforation accidentelle d'isolant ...

#### Sur les transformateurs de puissance

Dans ce cas d'application, on peut citer comme causes possibles :

- le desserrage ou la déformation des connexions internes,
- un contact entre les bornes de raccordement ...

#### Sur l'appareillage

Les causes de défaut d'isolement entraînant des courants de court circuits peuvent avoir pour origines :

- un contact accidentel entre des bornes de raccordement,
- la présence de tresses de mise à la masse "oubliées" dans l'équipement électrique,
- parfois la présence d'outils "oubliés" au cours d'une intervention ...

#### Les causes générales

Il s'agit surtout de causes liées à l'environnement qui détériorent la qualité de l'isolement. Parmi elles :

- les poussières,
- l'humidité ...

### 19.9.6.2. Les conséquences

Les courants de court-circuit engendrés par les défauts d'isollements ont des conséquences préjudiciables à la sécurité des personnes et des matériels :

#### Sécurité des personnes

- élévation du potentiel de masse/terre,
- élévation du potentiel de certains organes par rapport à d'autres ...

#### Sécurité du matériel

- échauffement des conducteurs par effet Joule,
- échauffement des tôles des noyaux magnétiques,
- destruction des isolants entre tôles et érosion de celles-ci ...

### 19.9.7. Les courants de défaut

#### 19.9.7.1. En présence de défaut phase/terre

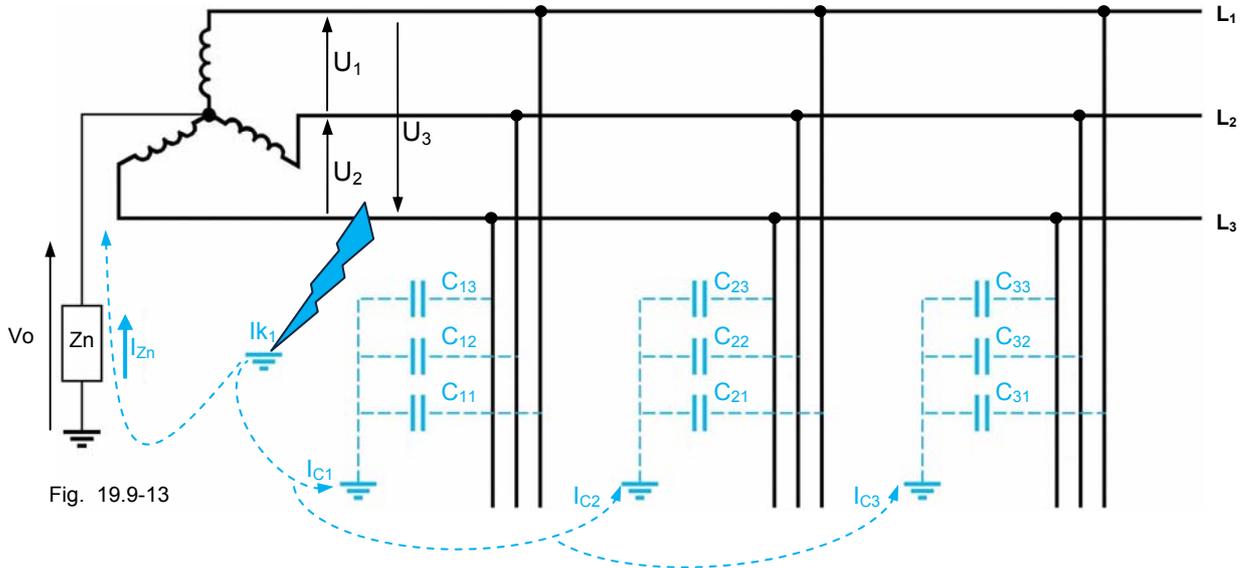


Fig. 19.9-13

La figure ci-dessus montre la circulation des différents courants lors d'un défaut phase-terre. La valeur du courant de défaut s'exprime par la relation :

$$Ik_1 = I_{Ln} + \sum I_{Ci}$$

#### 19.9.7.2. Le défaut de bobinage

La valeur du courant selon la situation du défaut d'isolement à l'intérieur d'un bobinage. Les figures suivantes montrent cette variation par rapport aux extrémités des bobinages et en fonction du coupage.

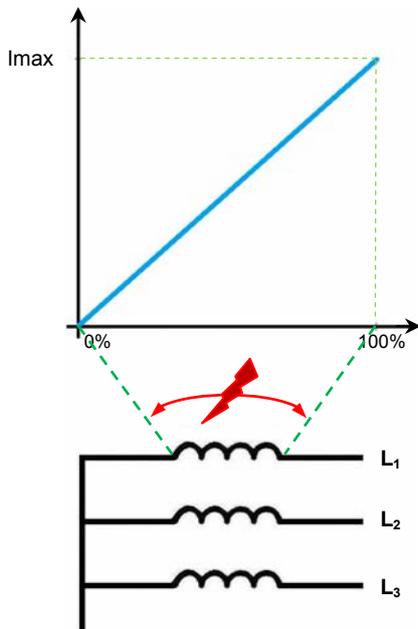


Fig. 19.9-14a

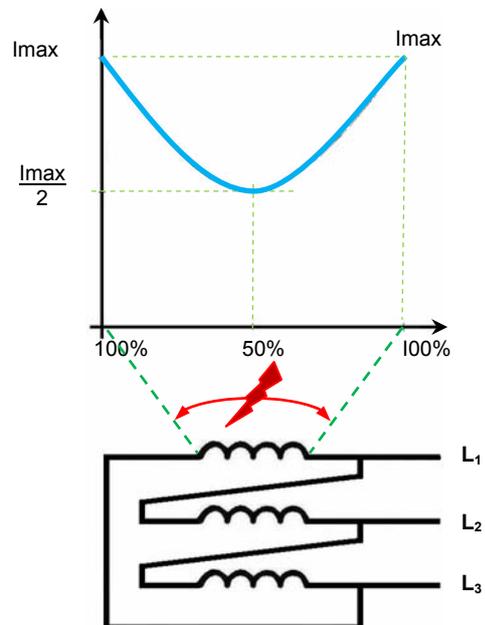


Fig. 19.9-14b

Le courant de défaut à la masse varie :

- entre 0 et la valeur maximum dans un coupage étoile selon que le défaut est situé à l'extrémité de l'enroulement raccordée au point neutre ou à la phase,
- entre 50 % et 100 % de la valeur maximum dans un coupage triangle selon que le défaut est situé au milieu ou à une extrémité de l'enroulement.