

1 Schéma Impédant-Terre

1.1 Caractéristiques générales

Définition 1.1 (Schéma IT) *Schéma de liaison à la terre dans lequel la prise de terre du neutre du transformateur et la prise de terre des masses métalliques sont raccordées à la terre selon quatre variantes différentes :*

Neutre transformateur HT/BT		Masses conductrices	
Isolé (Z_{res})	Impédant (Z_N)	Interconnectées	Individuelles
Neutre du transformateur pas raccordé du tout. Terme « isolé » à nuancer car l'installation électrique en aval du transformateur HT/BT ne sera jamais complètement isolée par rapport à la terre. Il subsistera toujours un courant de défaut I_d plus ou moins minime due à une impédance de fuite Z_{res} présente dans tous les réseaux électriques (voir section 1.2 page 3).	Neutre du transformateur raccordé à la prise de terre par une <i>impédance de limitation</i> dont la valeur dépend de la fréquence de la tension : – $F = 50\text{Hz} : 1500\Omega$; – $F = 2,5\text{Hz} : 2,5\Omega$. Cette impédance fixe donc une différence de potentiel définie entre le neutre et la terre, elle est installée lorsque le réseau électrique est court et que l'impédance de fuite Z_{res} est élevée.	Masses <i>interconnectées</i> au moyen d'un conducteur PE et raccordées à la terre au niveau du transformateur HT/BT. Raccordement similaire au schéma TN, à la différence que le neutre du transformateur n'est pas raccordé au conducteur PE et à la terre.	Masses mise à la terre <i>individuellement</i> ou par groupe à des prises de terre propres. Type de raccordement similaire au schéma TT avec installation de DDR en tête de chaque circuit.

Il s'agit d'un SLT un peu plus atypique ayant pour but d'assurer une *continuité de service* à l'installation électrique malgré un *premier défaut d'isolement* tout en assurant la protection des personnes contre les contacts indirects. Selon les quatre variantes de raccordement, le premier défaut entraînera un fonctionnement identique des protections mais à l'apparition d'un deuxième défaut entraînera un fonctionnement des protection différent.

Dans la pratique, le schéma IT présente les caractéristiques suivantes :

- continuité de service assurée après un premier défaut d'isolement ;
- contrôle permanent de l'isolement de l'installation par rapport à la terre avec signalisation de toute dépassement du seuil d'isolement défini à l'aide d'un Contrôleur Permanent d'Isolement (CPI) ;
- protection du neutre assurée ;
- raccordement possible d'un limiteur de tension (éclateur) entre la terre et le point neutre du transformateur HT/BT ;
- présence continue d'une équipe pour assurer rapidement la recherche du premier défaut d'isolement aussitôt signalé, facilitée avec du matériel de localisation automatique ;
- coupure automatique de l'installation dès l'apparition d'un second défaut d'isolement sur un conducteur actif différent de celui où le premier défaut d'isolement est apparu.



Le courant de défaut du premier défaut d'isolement va dépendre de l'impédance de limitation du neutre et de l'état d'isolement de l'installation électrique. Pour toutefois protéger les personnes, il doit être suffisamment bas pour satisfaire la règle $I_d \times R_A \pm 50V$, de sorte à ce que la tension de défaut U_d ne présente aucun danger.

1.2 Isolation de l'installation électrique en schéma IT

Dans le cas d'un schéma IT ou le neutre est isolé, l'isolement de l'installation de l'installation électrique n'est pas infini par rapport à la terre car les isolants ne présentent jamais une résistance infinie. Une résistance de fuite de l'installation électrique apparaîtra toujours et dépendra de plusieurs facteurs :

- nature des isolants (PVC, air...) ;
- âge de l'installation
- degré d'humidité ;
- longueur de l'installation.

Pour une installation neuve, on considère que la résistance de fuite est estimée à $3,3M\Omega$ pour 1km de réseau électrique.

Formule 1.1 (Résistance de fuite du réseaux R_{res} d'une installation neuve)

$$R_{res} = \frac{3,3}{n}$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
R_{res} : résistance	méga-ohm ($M\Omega$)	Résistance de fuite du réseaux électrique
n :	(/)	Nombre de km de réseaux électrique

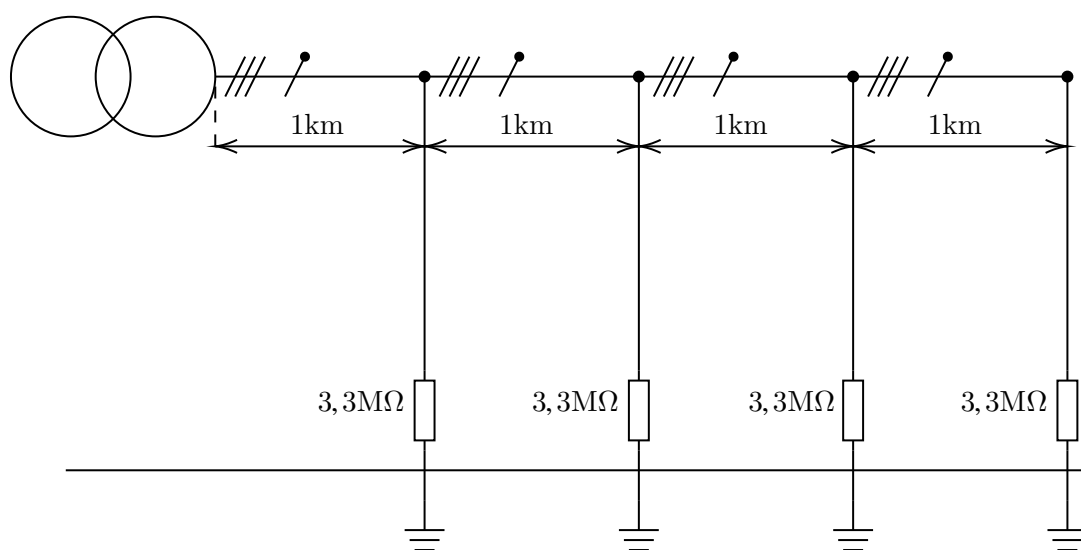


FIG. 1.1: Résistance de fuite R_{res} d'un réseau électrique de plusieurs km

Un réseau électrique présente également une capacité de fuite de par sa constitution (conducteur sous tension + isolant + terre). Celle-ci est estimée à $0,9\mu F$ pour 1km de réseau électrique.



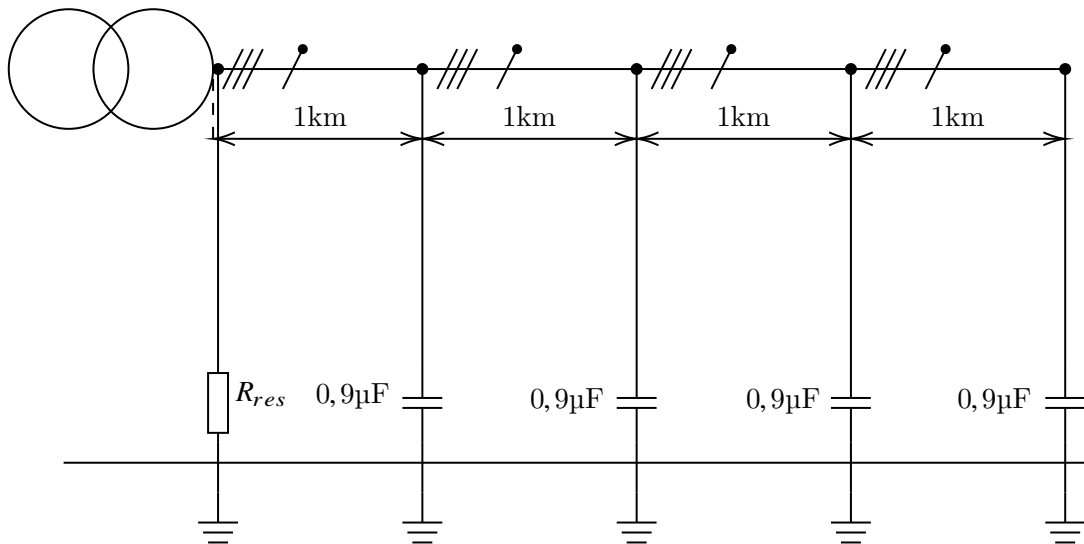


FIG. 1.2: Capacité de fuite d'un réseau électrique de plusieurs km

Une capacité de $0,9\mu\text{F}$ par km de réseau électrique équivaut, à une fréquence de 50Hz , à une réactance de fuite X_{res} de $3500\text{k}\Omega$ par km de réseau électrique neuf.

Formule 1.2 (Réactance de fuite du réseaux X_{res} d'une installation neuve)

$$X_{res} = \frac{3,5}{n}$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
X_{res} : résistance	kilo-ohm ($\text{k}\Omega$)	Réactance de fuite du réseaux électrique
n :	(/)	Nombre de km de réseaux électrique

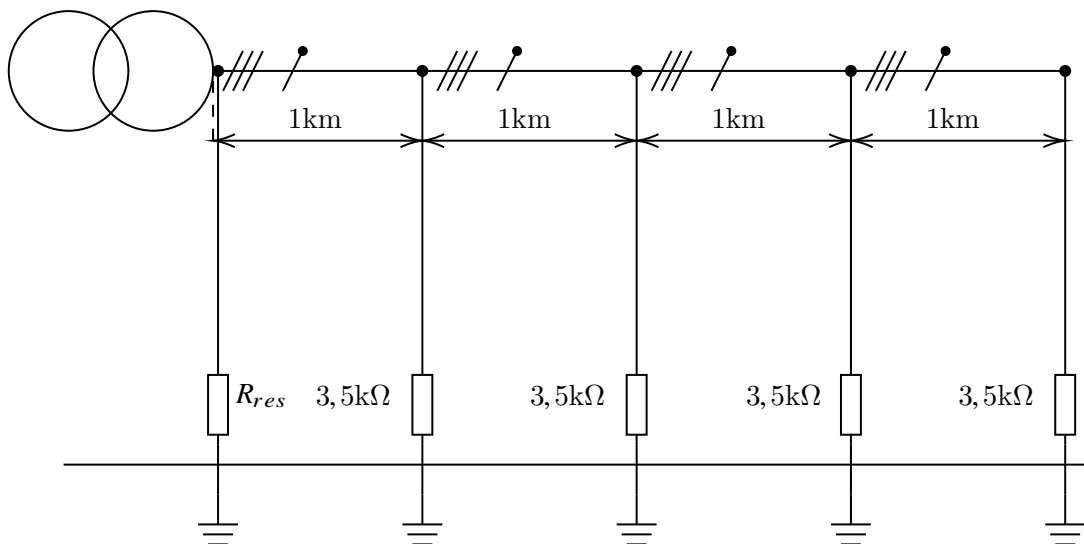


FIG. 1.3: Réactance de fuite X_{res} d'un réseau électrique de plusieurs km

La valeur de la réactance de fuite X_{res} est bien plus faible que celle de la résistance de fuite Z_{res} de l'installation. C'est donc la réactance qui va être le facteur limitant dans le calcul de l'impédance de réseau Z_{res} .



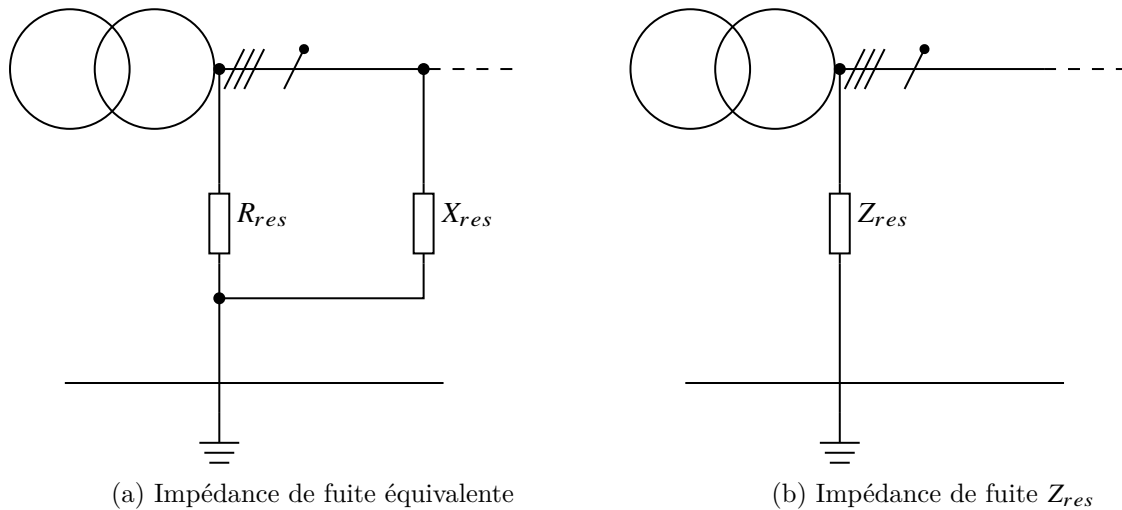


FIG. 1.4: Impédance de fuite Z_{res} d'un réseau électrique de plusieurs km

L'impédance de réseau Z_{res} (appelée aussi impédance capacitive Z_C) dépend donc de la longueur du réseau électrique et va en s'abaissant au fur et à mesure que celle-ci augmente.

TAB. 1.1: Valeur de l'impédance de réseau Z_{res} en fonction de la longueur du réseau électrique

Longueur L (km)	1	2	3	4	5	6
Impédance Z_{res} (Ω)	3538	1770	1180	884	707	590

1.3 Schémas de principe

1.3.1 Neutre isolé et masses mises à la terre individuellement

Le neutre du transformateur HT/BT est isolé de la prise de terre, mais protégé par un limiteur de surtension ① contre les surtensions à fréquence industrielle, et les masses conductrices sont reliées à la terre par des prises de terre propres à chaque masse. Il subsiste néanmoins une impédance de fuite Z_{res} présente dans toutes les installations électriques (voir [section 1.2 page 3](#)).

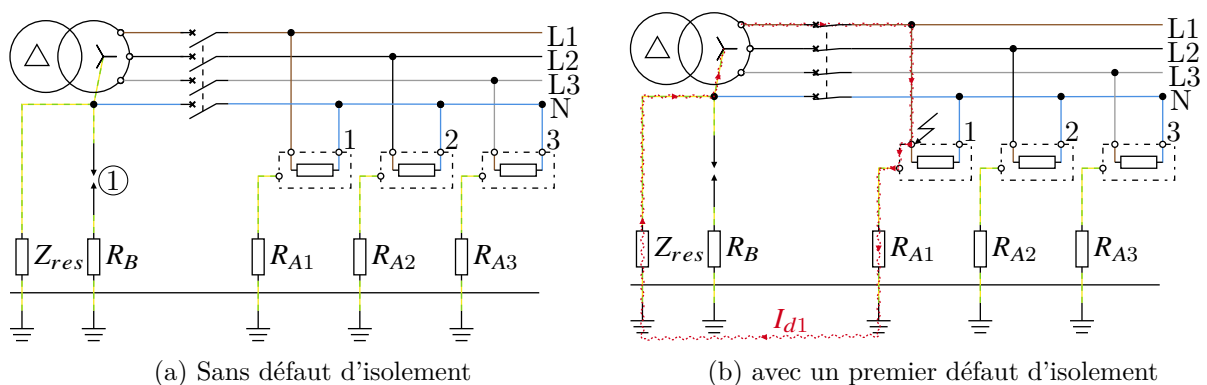


FIG. 1.6: Installation Isolé-Individuelle

En cas de premier défaut d'isolement de la phase 1 sur les masses métalliques, un premier courant de défaut I_{d1} dispose d'un chemin, via la terre, pour revenir au poste de transformateur HT/BT. Cela forme la *boucle de défaut*.



Dans les calculs, il faut tenir compte de la *résistance de défaut* R_d qui prend en compte la nature du défaut d'isolement (franc ou non-franc) et la résistance de la carcasse métallique de l'appareil 1.

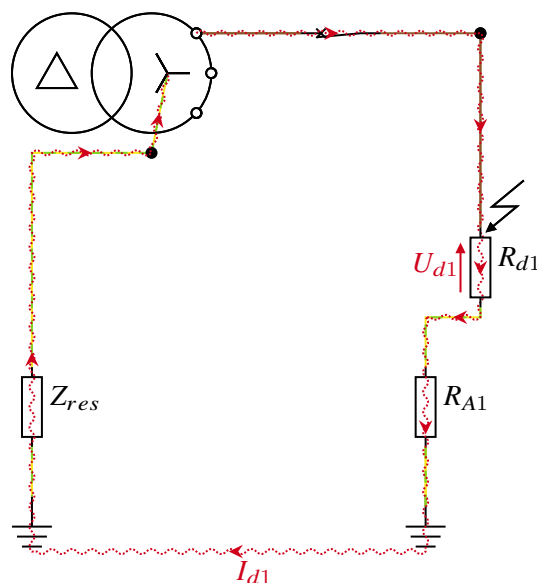


FIG. 1.8: Boucle de courant de défaut I_{d1} du premier défaut d'isolement sur L1

L'intensité de courant I_{d1} vaut alors :

Formule 1.3 (Courant du premier défaut I_{d1} en schéma Isolé-Individuel)

$$I_d = \frac{U_0}{Z_{res} + R_{A1} + R_{d1}}$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
U_0 : tension nominale simple	volt (V)	Différence de potentiel entre les masses métalliques et la terre
Z_{res} : impédance	ohm (Ω)	Impédance de fuite Z_{res} du réseau électrique
R_{A1} : résistance	ohm (Ω)	Résistance de la prise de terre de l'appareil 1
R_{d1} : résistance	ohm (Ω)	Résistance de défaut d'isolement de l'appareil 1

Le courant de défaut I_{d1} fera alors apparaître une *tension de défaut* U_{d1} entre la masse métallique de l'appareil 1 et la terre. Cette tension, limitée par l'impédance de fuite, sera très largement inférieure à U_L et ne sera donc pas dangereuse. La situation sera similaire avec un schéma Impédant-Individuel Z_N , ou l'impédance de limitation limitera également le courant de défaut :

Formule 1.4 (Tension de défaut U_{d1} en schéma Isolé-Individuel)

$$U_{d1} = R_{A1} \times I_{d1} \\ \ll U_L$$

Avec :



Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
R_{A1} : résistance	ohm (Ω)	Résistance de la prise de terre de l'appareil 1
I_{d1} : intensité	ampère (A)	Courant de défaut de l'appareil 1
U_L : tension	volt (V)	Tension de sécurité du local avec : Local sec : $U_L = 50V$ Local humide : $U_L = 25V$

Le fonctionnement d'un schéma IT sera également identique au premier défaut, que les masses soient interconnectées ou individuellement raccordées à la terre.

Exemple 1.1 (Tension de défaut U_{d1} en schéma Isolé-Individuel au premier défaut) Si on considère que le transformateur est un transformateur 20kV/400V, que $Z_{res} = 3500\Omega$, $R_{A1} = 40\Omega$ et que $R_d = 2\Omega$, on peut déduire que le courant de défaut I_d vaut :

$$\begin{aligned}
 I_{d1} &= \frac{U_0}{Z_{res} + R_{A1} + R_{d1}} \\
 &= \frac{400}{3500 + 40 + 2} \\
 &= 64,9\text{mA}
 \end{aligned}$$

Si une personne touche à la masse du récepteur 1, elle sera soumise à une tension de défaut U_{d1} :

$$\begin{aligned}
 U_{d1} &= R_{A1} \times I_{d1} \\
 &= 40 \times 0,0649 \\
 &= 2,6V
 \end{aligned}$$

Lors de l'apparition d'un deuxième défaut d'isolement sur un autre conducteur actif, un courant de défaut I_{d2} va apparaître. Celui-ci va s'apparenter à un court-circuit et de ce fait, I_{d1} sera négligé. Dans les calculs, il faut encore tenir compte de la *résistance de défaut* R_d qui prend en compte la nature du défaut d'isolement (franc ou non-franc) et les résistances des carcasses métalliques des appareils 1 et 2.

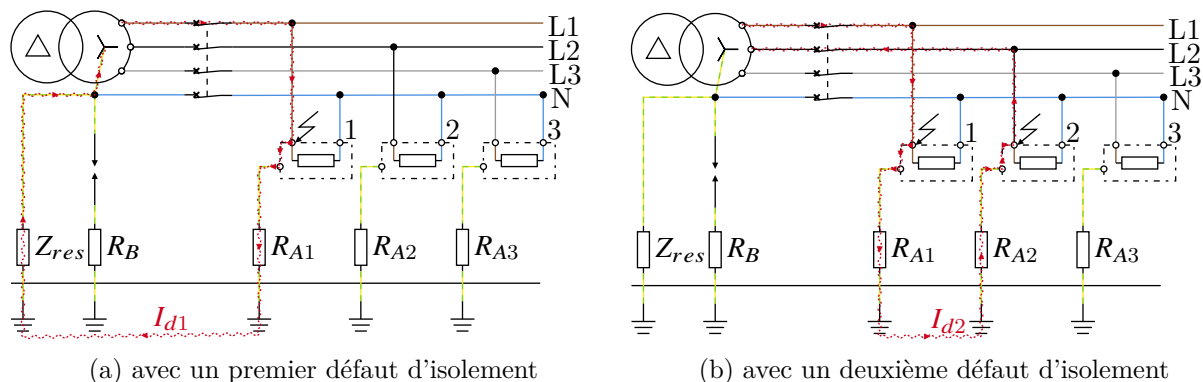


FIG. 1.9: Installation Isolé-Individuelle



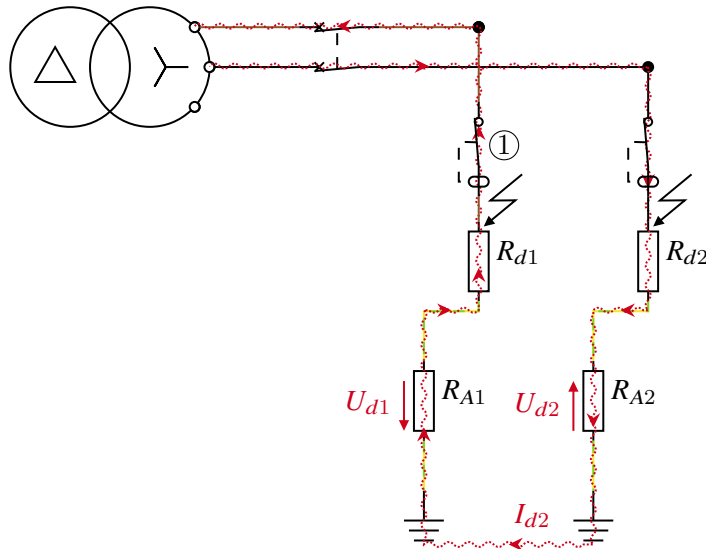


FIG. 1.11: Boucle de courant de défaut I_{d2} du deuxième défaut d'isolement sur L2

L'intensité de courant I_{d2} vaut alors :

Formule 1.5 (Courant du deuxième défaut I_{d2} en schéma Isolé-Individuel)

$$I_{d2} = \frac{U}{R_{d1} + R_{A1} + R_{A2} + R_{d2}}$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
U : tension nominale composée	volt (V)	Différence de potentiel entre deux conducteurs actifs (à préciser s'il s'agit du conducteur neutre)
R_{d1} : résistance	ohm (Ω)	Résistance de défaut d'isolement de l'appareil 1
R_{A1} : résistance	ohm (Ω)	Résistance de la prise de terre de l'appareil 1
R_{A2} : résistance	ohm (Ω)	Résistance de la prise de terre de l'appareil 2
R_{d2} : résistance	ohm (Ω)	Résistance de défaut d'isolement de l'appareil 2

Le courant de défaut I_{d1} fera alors apparaître une *tension de défaut* U_{d1} entre la masse métallique de l'appareil 1 et la terre. Cette tension, limitée par l'impédance de fuite, sera très largement inférieure à U_L et ne sera donc pas dangereuse. La situation sera similaire avec un schéma Impédant-Individuel Z_N , ou l'impédance de limitation limitera également le courant de défaut :

Formule 1.6 (Tension de défaut U_{d1} en schéma Isolé-Individuel)

$$U_{d1} = R_{A1} \times I_{d2} < U_L$$

Avec :



Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
R_{A1} : résistance	ohm (Ω)	Résistance de la prise de terre de l'appareil 1
I_{d2} : intensité	ampère (A)	Courant de défaut de l'appareil 2
U_L : tension	volt (V)	Tension de sécurité du local avec : Local sec : $U_L = 50V$ Local humide : $U_L = 25V$

Le cas est similaire à ceux rencontrés en schéma TT, on procèdera de la même manière en protégeant chaque groupe de masses par un DDR au calibre adapté ①. Il est donc nécessaire de limiter U_{d1} à la valeur suivante (voir ?? page ??) :

Formule 1.7 (Calibre du DDR $I_{\Delta n}$)

$$I_{\Delta n} < \frac{U_L}{R_{A1}} \quad (1.1)$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
R_{A1} : résistance	ohm (Ω)	Résistance de la prise de terre de l'appareil 1
U_L : tension	volt (V)	Tension de sécurité du local avec : Local sec : $U_L = 50V$ Local humide : $U_L = 25V$

R_{A1} : résistance ohm (Ω) Résistance de la prise de terre de l'appareil 1

L'usage de DDR implique de tenir du courant du premier défaut d'isolement I_{d1} afin que la protection ne coupe pas le circuit dès le premier défaut :

TAB. 1.2: Correspondance entre la capacité de fuite et le courant de premier défaut d'isolement

Capacité de fuite (μF)	Courant de premier défaut (A)
1	0,07
5	0,36
30	2,17

Exemple 1.2 (Tension de défaut U_{d1} en schéma Isolé-Individuel au deuxième défaut) Si on considère que le transformateur est un transformateur 20kV/400V, que $R_{A1} = R_{A2} = 40\Omega$ et que $R_{d1} = R_{d2} = 2\Omega$, on peut déduire que le courant de défaut I_{d2} vaut :

$$\begin{aligned}
 I_{d2} &= \frac{U}{R_{d1} + R_{A1} + R_{A2} + R_{A2}} \\
 &= \frac{400}{2 + 40 + 40 + 2} \\
 &= 4,76A
 \end{aligned}$$

Si une personne touche à la masse du récepteur 1, elle sera soumise à une tension de défaut U_{d1} :

$$\begin{aligned}
 U_{d1} &= R_{A1} \times I_{d2} \\
 &= 40 \times 4,76 \\
 &= 190,4V
 \end{aligned}$$

La tension de défaut U_{d1} est dangereuse quelle que soit la tension limite choisie :



- coupure la plus rapide possible ;
- protection des personnes.

Dans le cas d'un local sec :

$$I_{\Delta n} < \frac{U_L}{R_{A1}} \\ < \frac{50}{40} \\ < 1,25A$$

Dans le cas d'un local humide :

$$I_{\Delta n} < \frac{U_L}{R_{A1}} \\ < \frac{25}{40} \\ < 0,625A$$

D'après le tableau situé en ?? page ??, le DDR protégeant la carcasse de l'appareil 1 doit présenter un temps de coupure de moins de 200ms avec une tension de défaut U_d de 190,4V :

Tension nominale	$50V < U_0 \leq 120V$		$120V < U_0 \leq 230V$		$230V < U_0 \leq 400V$		$U_0 > 400V$	
Type de courant	alternatif	continu	alternatif	continu	alternatif	continu	alternatif	continu
Schéma TN/IT	0,8s	5s	0,4s	5s	0,2s	0,4s	0,1s	0,1s
Schéma TT	0,3s	5s	0,2s	0,4s	0,07s	0,2s	0,04s	0,1s

1.3.2 Neutre isolé et masses interconnectées et mise à la terre

Les situations saines et au premier défaut d'isolement d'une installation en schéma IT avec les masses conductrices interconnectées et reliés en un seul point seront similaires au schéma IT avec les masses mise à la terre individuellement. Au deuxième défaut d'isolement, la situation sera différente, la prise en charge du défaut va s'apparenter à celle qu'on rencontre en schéma TN avec l'apparition d'un court-circuit.

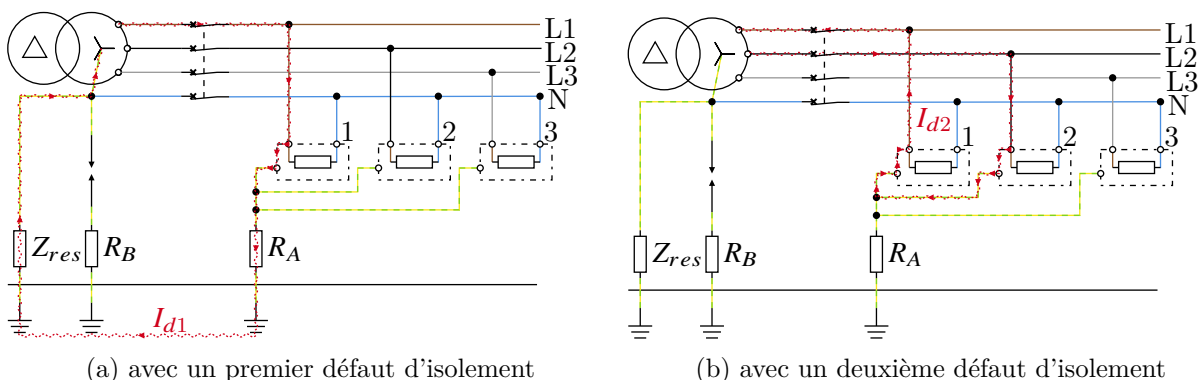


FIG. 1.12: Installation Isolé-Interconnectée

Contrairement au SLT IT avec les masses isolées, il ne faut pas tenir compte des résistances de défaut R_{d1} et R_{d2} qui prend en compte la nature du défaut d'isolement (franc ou non-franc) et la résistance de la carcasse métallique car il s'agit d'un court-circuit et elle sera donc très faible.



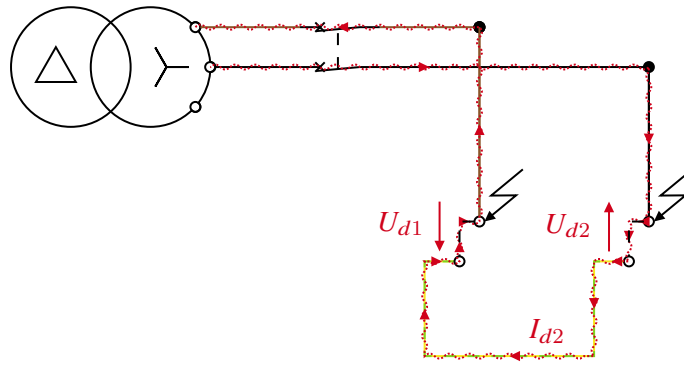


FIG. 1.14: Boucle de courant de défaut I_{d2} du deuxième défaut d'isolement sur L2

L'intensité de courant I_{d2} vaut alors :

Formule 1.8 (Courant du deuxième défaut I_{d2} en schéma Isolé-Interconnecté)

$$I_{d2} = \frac{0,5 \times U}{R_{ph1} + R_{ph2}}$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
U : tension nominale composée	volt (V)	Différence de potentiel entre deux conducteurs actifs (à préciser s'il s'agit du conducteur neutre)
R_{ph1} : résistance	ohm (Ω)	Résistance de du conducteur actif alimentant l'appareil 1
R_{ph2} : résistance	ohm (Ω)	Résistance de du conducteur actif alimentant l'appareil 2

Le courant de défaut I_{d1} fera alors apparaître une *tension de défaut* U_d entre la masse métallique de l'appareil 1 et la masse métallique de l'appareil 2.

On néglige également la résistance du conducteur PE devant celle des phases. Dans ce contexte-là, la tension de défaut U_d vaut alors :

Formule 1.9 (Tension de défaut U_d en schéma Isolé-Individuel)

$$U_d = \frac{0,5 \times U}{2}$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
U : tension nominale composée	volt (V)	Différence de potentiel entre deux conducteurs actifs (à préciser s'il s'agit du conducteur neutre)
I_{d2} : intensité	ampère (A)	Courant de défaut de l'appareil 2
U_L : tension	volt (V)	Tension de sécurité du local avec : Local sec : $U_L = 50V$ Local humide : $U_L = 25V$



Cette tension de défaut est dangereuse et il faut obligatoirement couper l'alimentation en protégeant les circuits par des disjoncteurs magnéto-thermique, qui doivent respecter les temps de coupure suivant :

TAB. 1.3: Temps de coupure maximal des disjoncteurs en schéma IT

Réseaux usuels	Temps de coupure maximal (ms)	
	$U_L = 50V$	$U_L = 25V$
Neutre non distribué		
127V/230V	800	400
230V/400V	400	200
400V/690V	200	60
690V/1000V	100	20
Neutre distribué ¹		
127V/230V	5000	1000
230V/400V	800	500
400V/690V	400	200
690V/1000V	200	80

¹ les installations monophasées sont considérées comme des installations à neutre distribué.

La longueur maximale des conducteurs en schéma IT avec les masses interconnectées se calculent avec les mêmes méthodes que pour les installations en schéma TN (voir ?? page ??).

1.4 Contrôle permanent de l'installation en schéma IT

Quand l'installation électrique est en schéma IT, il est nécessaire d'avoir une équipe de maintenance à disposition pour intervenir rapidement en cas de premier défaut. Pour les détecter au plus vite, il faut installer un Contrôleur Permanent d'Isolement (CPI). Il s'agit d'un appareil placé en dérivation qui va calculer en permanence deux paramètres de l'installation :

- ① **niveau d'isolement général Z_{res}** : injection d'une tension (continue ou alternative de basse fréquence) entre le neutre et la terre, générant un *courant de fuite* I_f dont l'intensité sera proportionnellement inverse au niveau d'isolement général de l'installation électrique. Au-dessous d'un certain seuil d'isolement réglable (généralement entre 0,7 à 100k Ω), le CPI déclenche une alarme.
- ② **apparition d'un défaut franc sur un circuit** : installation de tores de détection sur les circuits à surveiller, calculant la différence entre le courant entre et sortant (mécanisme similaire à ceux des DDR). Cela permet de localiser précisément les circuits en défaut.



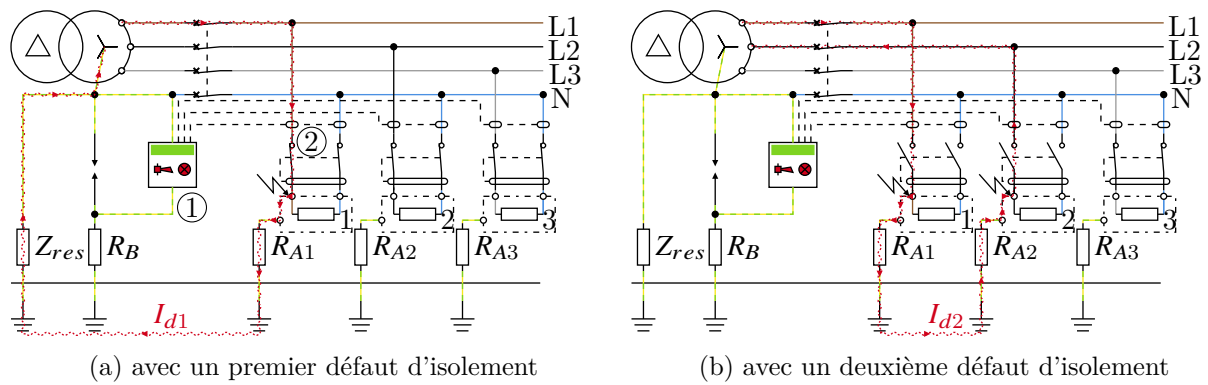


FIG. 1.15: Installation Isolée-Individuelle avec CPI

1.5 Inconvénients du schéma IT

Le schéma IT présente l'inconvénient majeur de nécessiter une installation dont le niveau d'isolement doit être toujours au-dessus du seuil défini par le CPI. Dans la pratique, les réseaux IT présenteront relativement rapidement des défauts d'isolement et la présence d'une équipe de maintenance et d'un matériel de détection seront coûteuses. De plus, certains équipements peuvent polluer le réseau électrique et perturber ainsi le bon fonctionnement des CPI, il conviendra d'alimenter ceux-ci par un transformateur d'isolement et cela peut ajouter un coût non négligeable à l'ensemble de l'installation.

Les installations neuves dont la continuité de service doit être assurée (équipement médical, événementiel, zone militaire...) présentent actuellement une répartition fragmentée du réseau et une multiplication des sources principales et de secours pour que le défaut puisse être isolé.

