

Table des matières

1 Les S.L.T	1
1.1 Pourquoi un schéma des liaisons à la terre?	1
1.2 Schéma IT	3
1.3 Le fonctionnement pour un réseau (1km)	4
1.4 Deuxième défaut	6
1.4.1 Neutre non distribué	6
1.4.2 Neutre distribué	9
1.4.3 Utilisation du schémaIT	10
1.4.4 Matériel utilisé en schéma IT	10

S1.3:Schémas de liaison à la terre BTA

1 Les S.L.T

1.1 Pourquoi un schéma des liaisons à la terre?

Rappelons que pour distribuer l'énergie, le fournisseur impose un S.L.T ou régime de neutre repéré par deux lettres qui a pour but de protéger les utilisateurs contre les contacts indirects. Le S.L.T fixe:

1. Le raccordement du point neutre du côté du réseau d'alimentation (première lettre):
 - T: si le neutre est mis à la terre.
 - I: si le neutre est isolé ou impédant.
2. Le raccordement des masses d'utilisation (deuxième lettre):
 - T: si les masses sont interconnectées et mises à la terre.
 - N: si les masses sont interconnectées et mises au neutre.

En résumé,les S.L.T utilisés dans le monde pour distribuer l'énergie sont:

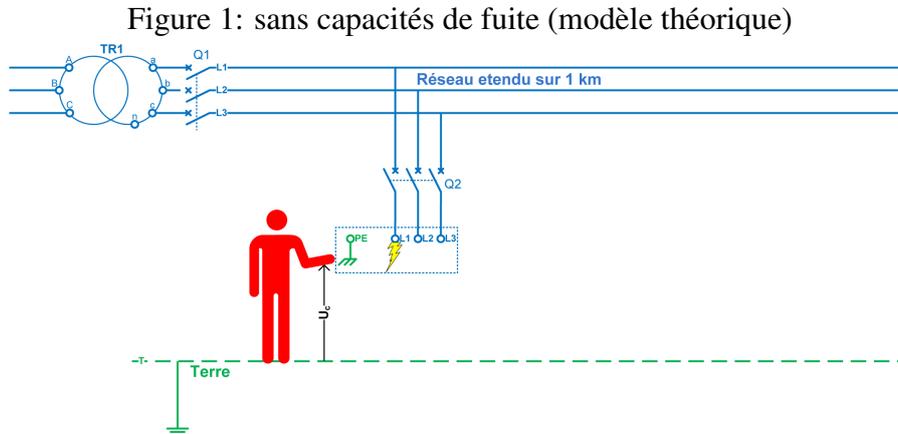
- TT: Réseau de distribution publique (voir cours).
- TN: Réseaux tertiaires et industriels (voir cours).
- IT: Réseaux tertiaires et industriels qui fait l'objet de ce cours.

Participation de la terre en tant que circuit électrique

Les distributeurs d'énergie se seraient bien passés du problème introduit par la terre lors de la distribution de l'énergie, mais la participation de celle-ci en tant que circuit électrique est inévitable. En effet, observons le schéma de distribution simplifié de la figure 1.

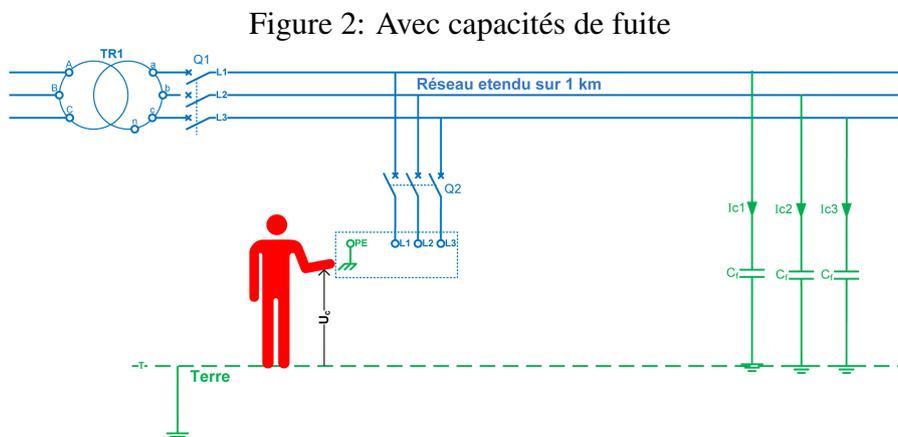
Analyse du fonctionnement

1. Sans capacité de fuite: figure 1



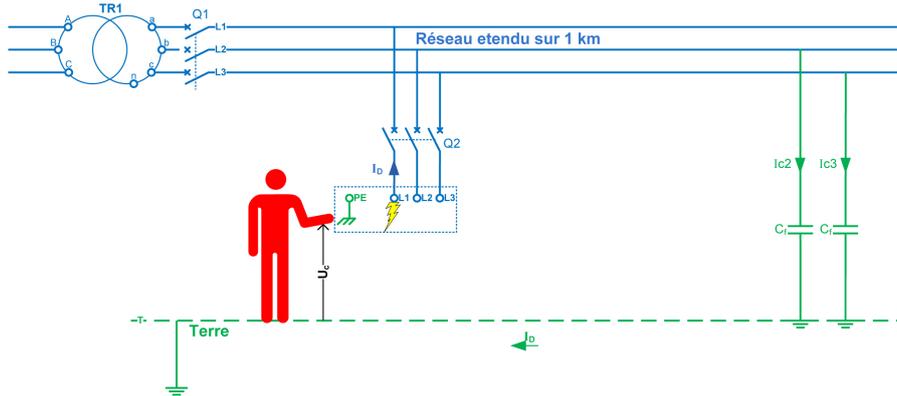
Si un défaut d'isolement survient sur une machine ou une installation, et si on néglige la longueur des conducteurs d'alimentation du réseau, on peut en déduire que la tension de contact ne présente pas de danger pour l'utilisateur car la terre ne constitue pas un potentiel lié au réseau constitué par TR1. L'utilisateur semble se trouver en sécurité en aval d'un transformateur de séparation.

2. Avec capacité de fuite: figure 2



La réalité est différente car lorsqu'on considère un réseau de distribution, la longueur des conducteurs introduit au niveau de chaque câble d'alimentation un paramètre supplémentaire: la capacité de fuite. Celle-ci s'établit entre phases et terre, permettant ainsi la circulation d'un courant de défaut et par conséquent, l'apparition de la tension de contact: U_C : figure 3.

Figure 3: Défaut d'isolement phase 1



Conclusion

Le distributeur d'énergie ne peut pas considérer le réseau électrique isolé de la terre¹. Pour cette raison, il doit fixer le niveau du potentiel des masses par rapport à la terre, pour assurer la protection des personnes contre les contacts indirects: les schémas de liaisons à la terre donnent un cadre réglementaire à ces problèmes.

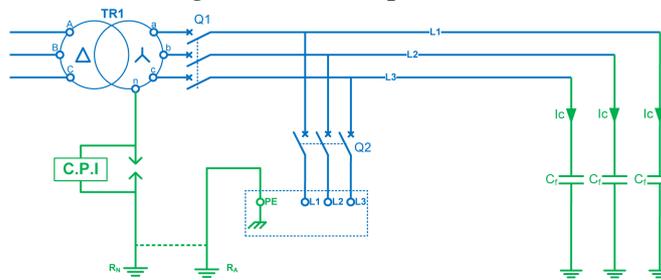
1.2 Schéma IT

Schémas de raccordement

Il se décline sous deux formes car le neutre du réseau est:

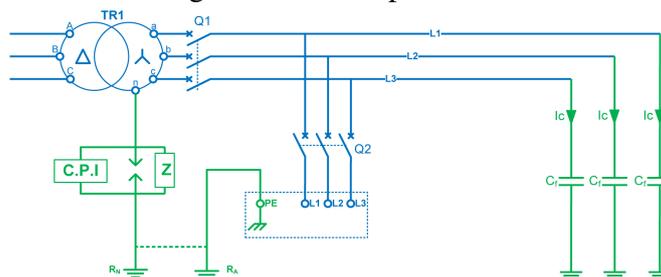
1. Soit isolé de la terre: lettre repère I

Figure 4: sans impédance Z



2. Soit, pour les réseaux peu étendus, mis à la terre par une impédance de forte valeur, en général $Z = 1500\Omega$:ici aussi la lettre repère est I

Figure 5: avec impédance Z



¹sauf s'ils sont très peu étendu comme nous allons le voir pour l'IT

Commentaires

1. les masses

Dans les deux cas, les masses d'utilisations sont interconnectées et reliées à une prise de terre distincte R_a ou qui peut être interconnectée avec la prise de terre du neutre R_n .

2. Le neutre

Il est isolé de la terre. On intercale un limiteur de surtension qui est chargé:

- Limiter l'amplitude des surtensions de faible valeur.
- Évacuer l'énergie à la terre lorsque le phénomène est très important.

Générateurs de surtensions

Les surtensions sur le réseau électrique sont provoquées par:

- Des manœuvres d'appareils sur le réseau.
- Des surtensions d'origine naturelle (foudre).
- Des problèmes d'isolement sur les transformateurs:claquage MT/BT.

Le limiteur de surtension est surveillé par le C.P.I car en cas du claquage de son isolant le régime IT serait transformé en T.T.

Le C.P.I est un contrôleur permanent d'isolement qui surveille en temps réel la résistance d'isolement de l'installation. il est associé à des avertisseurs qui sont chargés d'alerter le service d'entretien lors d'un premier défaut d'isolement. Le seuil de défaut minimal est réglable car comme on vient de le voir, le niveau d'isolement de l'installation varie avec la longueur des conducteurs qui la constitue.

1.3 Le fonctionnement pour un réseau (1km)

Lors d'un défaut d'isolement nous savons qu'un courant s'établit à cause des capacités parasites des conducteurs. Prenons le cas de la figure 6 et précisons la valeur des grandeurs dont nous avons besoin.

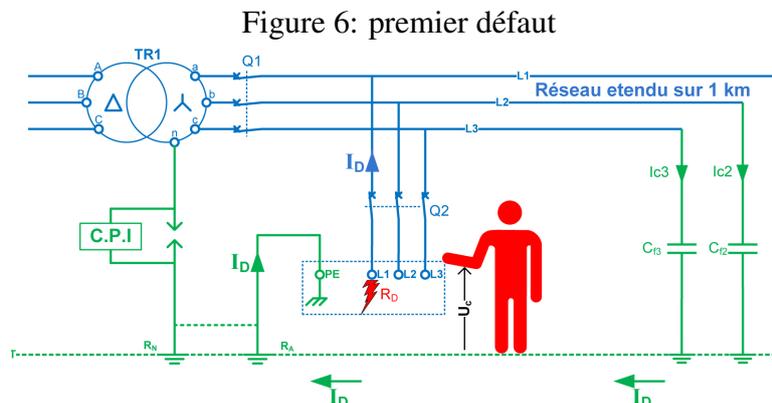
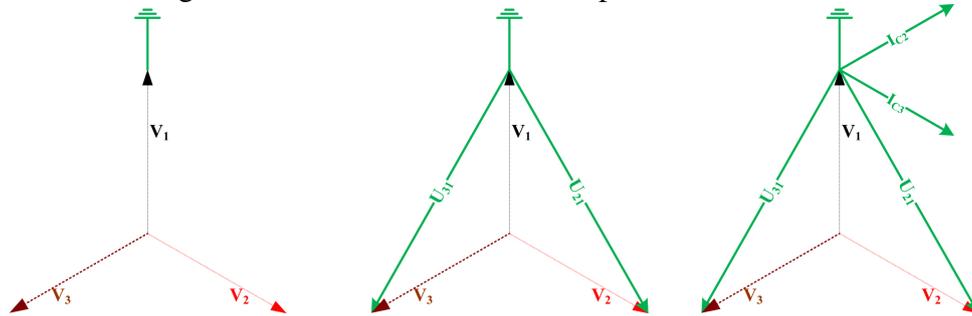


Schéma IT en présence d'un défaut d'isolement sur la phase 1

Les paramètres de l'installation sont les suivants:

- La capacité parasite d'un conducteur d'un kilomètre est: $C_f = 0,25\mu F^2$
- La valeur de la résistance de défaut est nulle: $R_D = 0\Omega$
- La prise de terre est localisée en $R_a = R_n$: Sa valeur est $R_n = 10\Omega$
- Les courants I_C sont déphasés de 90° en avance par rapport à la tension qui les génère.
- L'expression du courant de circulation dans la capacité de fuite³ est : $I_C = UC_f\omega$ avec $\omega = 2\pi f$

Figure 7: construction vectorielle: phase 1 à la masse



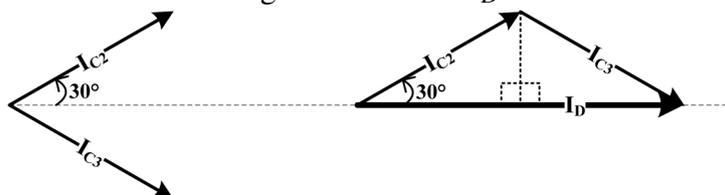
La construction montre que:

- Le défaut s'établit sous la tension composée: U .
- L'expression du courant de défaut est : $\vec{I}_D = \vec{I}_{C2} + \vec{I}_{C3}$
- L'expression de la tension de contact: $U_C = R_n I_D$

Appliquées à notre exemple les différentes valeurs calculées sont:

- $I_C = UC_f\omega = 400 \times 0,25 \times 10^{-6} \times 314 = 31,4mA$ pour un condensateur.
- $\vec{I}_D = \vec{I}_{C2} + \vec{I}_{C3} = 2 \times I_C \times \cos(30^\circ) = 2 \times I_C \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}I_C = 54mA$:voir figure 8

Figure 8: Courant I_D



- $U_C = R_n I_D = 0,54V$

²Il faudrait aussi prendre en compte la valeur de la résistance de fuite qui est très élevée et sans effet notable sur le courant de défaut.

³relation identique que pour un condensateur réel

Conclusion

Le défaut ne constitue pas un danger pour les utilisateurs, mais doit être recherché et éliminé.

1.4 Deuxième défaut

1.4.1 Neutre non distribué

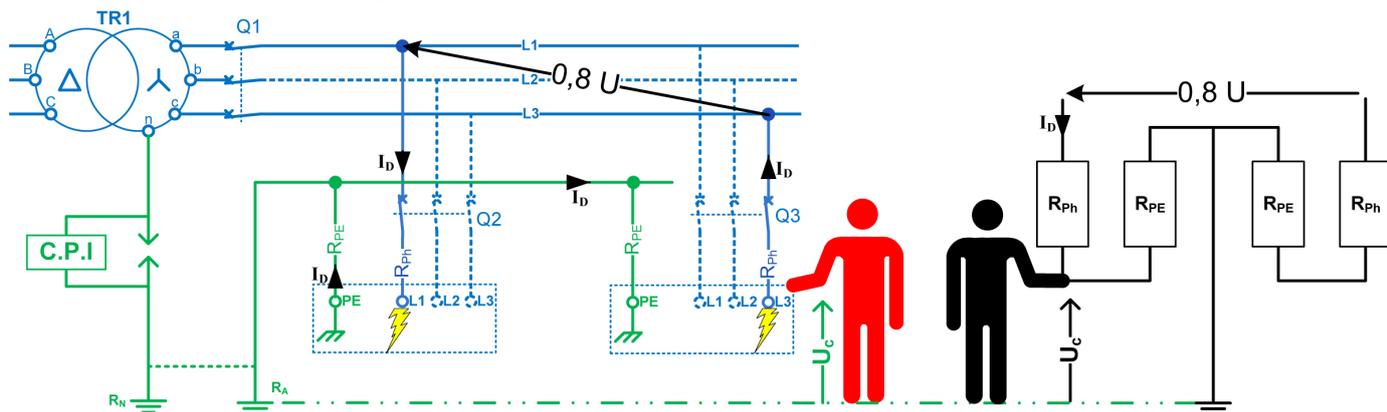
Un deuxième défaut survient sur la phase 2 ou 3 avant la suppression du premier défaut sur la phase 1: le défaut constaté est un court-circuit. Le schéma obtenu est déjà connu car il est identique au régime TN, le courant de défaut doit être éliminé par un appareil de protection adapté: disjoncteur ou fusible. Les hypothèses simplificatrices qui correspondent au cas le plus défavorable sont:

- La tension de défaut vaut 80% de U.
- Même longueur des conducteurs d'alimentation.
- L'impédance des conducteurs est négligée devant leur résistance.
- Nous poserons $m = \frac{S_{Ph}}{S_{PE}}$, le rapport de la section des conducteurs phase et PE.
- La résistance d'un conducteur est donnée par la relation: $R = \rho \frac{l}{S}$ qui s'exprime à l'aide des unités suivantes:

$$1. R(\Omega) \quad l(m) \quad \rho(\Omega m) \implies \Omega = \frac{\Omega \cdot m \cdot m}{m^2}$$

$$2. R(m\Omega) \quad l(m) \quad \rho\left(\frac{m\Omega \cdot mm^2}{m}\right) \implies m\Omega = \frac{\frac{m\Omega \cdot mm^2}{m} \cdot m}{mm^2}$$

Figure 9: Double défaut - N non distribué



Calcul du courant de défaut I_D

Le courant de défaut est donné par la loi d'ohm: $I_D = \frac{U}{\Sigma R}$, qui appliquée au schéma figure 9 conduit à l'expression suivante:

$$I_D = \frac{0,8U}{R_{Ph1} + R_{PE} + R_{Ph3} + R_{PE}} = \frac{0,8U}{2(R_{Ph} + R_{PE})} = \frac{0,8U}{2\rho l \left(\frac{1}{S_{Ph}} + \frac{1}{S_{PE}} \right)} : \text{ posons } m = \frac{S_{Ph}}{S_{PE}}$$

$$I_D = \frac{0,8U}{\frac{2\rho l}{S_{Ph}} \left(\frac{S_{Ph}}{S_{Ph}} + \frac{S_{Ph}}{S_{PE}} \right)} = \frac{0,8U}{\frac{2\rho l}{S_{Ph}} (1+m)} = \frac{0,8US_{Ph}}{2\rho l(1+m)}$$

Longueur maximale des lignes d'alimentation

Dans ce cas, la longueur de la ligne d'alimentation ne devra pas dépasser la valeur maximale ci-dessous:

$$l_{max} = \frac{0,8US_{Ph}}{2\rho(1+m)I_{magn}}$$

Tension de contact

La figure 9 montre que comme pour le schéma TN, la tension à laquelle est soumis l'utilisateur se situe aux bornes du conducteur PE, par conséquent l'expression vaut:

$$U_C = R_{PE} \times I_D = \frac{\rho l}{S_{PE}} \frac{0,8US_{Ph}}{2\rho l(1+m)} = \frac{0,8Um}{2(m+1)}$$

Exemple d'application

L'alimentation de deux moteurs d'une puissance de 55kW est réalisée suivant le schéma IT conformément au schéma donné par la figure 10. Le schéma correspond à la solution technique proposée par le progiciel Ecodial qui calcule les constituants du réseau conformément au guide UTE C 15-500.

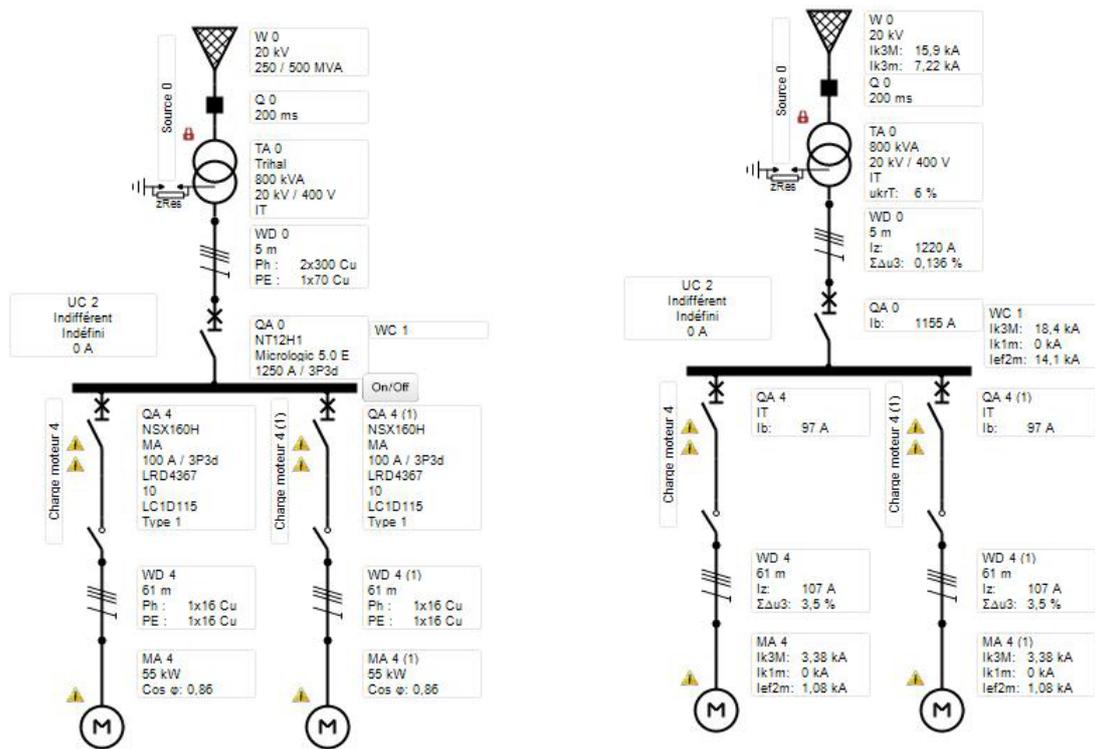
Nous pouvons facilement vérifier la validité de la solution proposée en effectuant nous même les calculs à l'aide des relations vues précédemment.

Quelques précisions sont nécessaires avant de commencer:

- $\rho_0 = 18,51 \frac{m\Omega \cdot mm^2}{m}$ est la résistivité du cuivre à 20 °C.
- Les calculs sont effectués pour une résistivité $\rho_1 = 1,28\rho_0 = 1,28 \times 18,51 = 23,7 \frac{m\Omega \cdot mm^2}{m}$ qui correspond à une température maximale des conducteurs PR égale à 90 °C⁴.
- Les hypothèses simplificatrices précédentes sont toujours valables: même longueur..etc.

⁴La relation appliquée par l'UTE C 15-500 pour calculer la valeur d'une résistivité à une température θ donnée est: $\rho_\theta = \rho_0[1 + 0,004(\theta - 20)]$

Figure 10: Alimentation de deux moteurs



Calcul de la longueur max des conducteurs d'alimentation

Le rapport édité par Ecodial nous renseigne sur les valeurs des réglages effectués sur les disjoncteurs de protection, en particulier celui du magnétique que nous devons utiliser dans la relation: $I_{SD} = 900A$.

Figure 11: Réglages des appareils de protection

	QA 4 (1)	QA 0
Gamme	Compact NSX	Masterpact NT
Désignation/technologie fusible	NSX160H	NT12H1
Calibre disjoncteur/fusible	160	1250
Déclencheur/courbe	MA	Micrologic 5.0 E
Calibre déclencheur	100	1250
Réglages long retard		
I_r (A)	100	1188
T_r (s)	0	24
Réglages court retard		
I_{sd} (A)	900	9500
T_{sd} (s)	0	0,08
Réglages instantané		
I_i (A)	0	15000

Résultats de calcul conformes au guide UTE C 15-500 (2003).

$$I_{max} = \frac{0,8US_{ph}}{2p(1+m)I_{magn}} = I_{max} = \frac{0,8 \times 400 \times 16}{2 \times 23,7 \times 10^{-3} \times (1+1) \times 900} = 60m$$

Ecodial propose 61 m, par conséquent cet exemple valide la relation que nous avons appliquée.

Calcul de la tension de contact

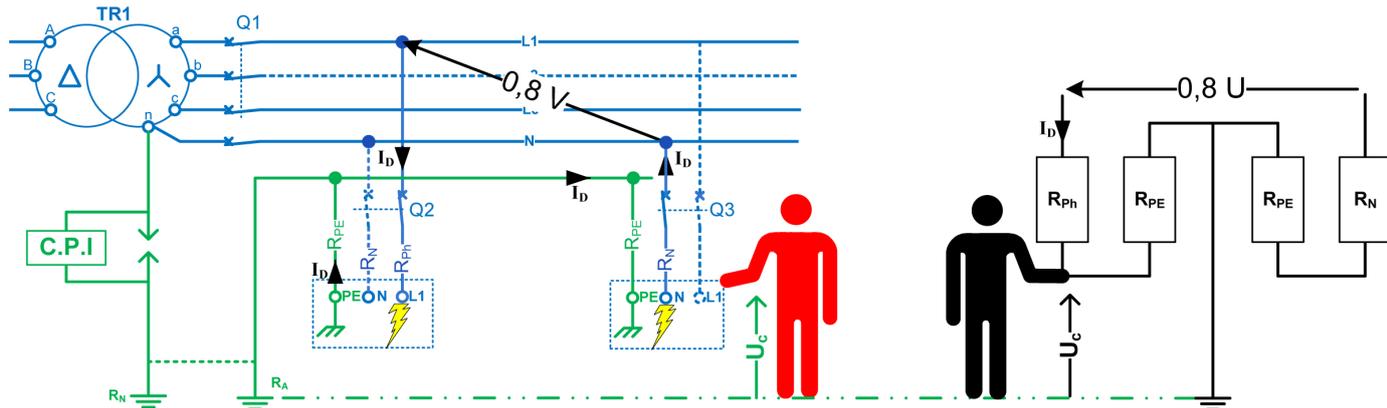
$$U_C = R_{PE} \times I_D = \frac{0,8Um}{2(m+1)} = \frac{0,8 \times 400 \times 1}{4} = 80V$$

1.4.2 Neutre distribué

Lorsque le neutre est distribué, le schéma devient celui de la figure 10. Il est proche du schéma précédent car seule la tension sous laquelle se produit le défaut change, maintenant elle vaut 0,8 V: tension simple.

Le schéma démontre l'importance de protéger tous les conducteurs actifs (L et N) et de vérifier que chaque pôle est capable de couper le courant de double défaut : I_{ef2m} .

Figure 12: Double défaut - N distribué



Calcul du courant de défaut I_D

Le courant de défaut est donné par la loi d'ohm: $I_D = \frac{U}{\Sigma R}$, qui appliquée au schéma figure 8 conduit à l'expression suivante:

$$I_D = \frac{0,8V}{R_{Ph1} + R_{PE} + R_N + R_{PE}} = \frac{0,8V}{2(R_{Ph} + R_{PE})} = \frac{0,8V}{2\rho l \left(\frac{1}{S_{Ph}} + \frac{1}{S_{PE}} \right)} : \text{ posons } m = \frac{S_{Ph}}{S_{PE}}$$

$$I_D = \frac{0,8V}{\frac{2\rho l}{S_{Ph}} \left(\frac{S_{Ph}}{S_{Ph}} + \frac{S_{Ph}}{S_{PE}} \right)} = \frac{0,8V}{\frac{2\rho l}{S_{Ph}} (1 + m)} = \frac{0,8V S_{Ph}}{2\rho l (1 + m)}$$

Longueur maximale des lignes d'alimentation

$$l_{max} = \frac{0,8V S_{Ph}}{2\rho(1 + m)I_{magn}}$$

Tension de contact

La tension à laquelle est soumis l'utilisateur se situe toujours aux bornes du conducteur PE, par conséquent l'expression vaut:

$$U_C = R_{PE} \times I_D = \frac{\rho l}{S_{PE}} \frac{0,8V S_{Ph}}{2\rho l (1 + m)} = \frac{0,8V m}{2(m + 1)}$$

Temps de coupure des appareils de protection

Le temps de coupure des appareils de protection des circuits terminaux est donné par le tableau 41 A de la norme NF C-15 100: article 411.3.2.1.

- Les temps de coupure sont exprimés en (s).
- U_0 est la tension simple entre phase et neutre.
- Le tableau 41A complet recense aussi les temps de déclenchements pour un réseau continu qui n'apparaissent pas ici.

Tableau 41A ~	$50V < U_0 \leq 120V$	$120V < U_0 \leq 230V$	$230V < U_0 \leq 400V$	$U_0 > 400V$
Schéma TN ou IT	0,8	0,4	0,2	0,1

1.4.3 Utilisation du schéma IT

1. Au niveau matériel

Le schéma IT est utilisé:

- Lorsque le réseau est peu étendu: <10km.
- Lorsque la continuité de service est un impératif: arrêt de production couteux ou coupure impossible (salle de chirurgie ou piste d'aéroport).
- Locaux à risque d'incendie important: limitation au premier défaut d'isolement.

2. Au niveau humain

Le schéma IT demande un service de maintenance très qualifié pour son exploitation, de part la technologie très élaborée des matériels mis en œuvre, comme le réglage des C.P.I adressables par exemple: épreuve E2 session 2011. Ces appareils permettent de suivre par l'intermédiaire de bus communicants, l'évolution de l'isolement des différents départs des tableaux, et ainsi, d'anticiper la venue du premier défaut. Pour être judicieusement réglés, ils demandent une connaissance fine du comportement des circuits R,L,C en alternatif.

1.4.4 Matériel utilisé en schéma IT

- [Contrôleur permanent d'isolement Socomec](#)
- [Contrôleur permanent d'isolement Schneider](#)
- [Limiteur de surtension Schneider](#)
- [Limiteur de surtension Socomec](#)
- [Application S.L.T IT Socomec](#)