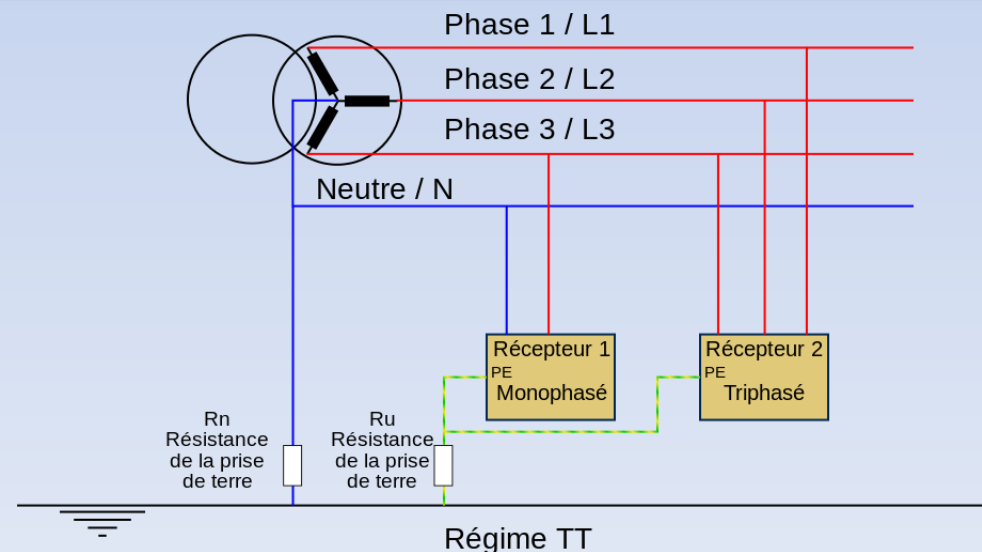


Les Schémas de Liaison à la Terre



Objectifs

- Connaitre le schéma TT
- Connaitre le schéma IT
- Connaitre le schéma TN

Prérequis:

- *ELC2*
- *CMSE 1, CMSE2*

public cible:

- 2^{ième} année Génie industriel et maintenance

Définition

- En électricité, un schéma de liaison à la terre (anciennement "régime de neutre"), ou **SLT** définit le **mode de raccordement à la terre** du point **neutre d'un transformateur de distribution** et des **masses côté utilisateur**.
- Les schémas de liaison à la terre ont pour but de **protéger les personnes et le matériel** en maîtrisant les défauts d'isolement. En effet, pour des raisons de sécurité, toute partie conductrice d'une installation est isolée par rapport aux masses. Cet isolement peut se faire par éloignement, ou par l'utilisation de matériaux isolants. Mais avec le temps, l'isolation peut se détériorer (à cause des vibrations, des chocs mécaniques, de la poussière, etc.), et donc mettre une masse (la carcasse métallique d'une machine par exemple) sous un potentiel dangereux. Ce défaut présente des risques pour les personnes, les biens mais aussi la continuité de service.

- Selon la norme **CEI-60364**, un schéma de liaison à la terre se caractérise par **deux lettres**, dont :
 - **La première indique le raccordement du point neutre du transformateur de distribution HT/BT** et qui peut être :
 - **I** pour isolé (ou impédant) par rapport à la terre.
 - **T** pour raccordé à la terre
 - **La seconde indique la façon de connecter les masses** utilisateurs. Elle peut être :
 - **T** pour raccordées à la terre ;
 - **N** pour raccordées au neutre, lequel doit être raccordé à la terre.
- **Le neutre** est le point central où sont reliées les 3 bobines du secondaire du transformateur HT/BT dans le cas d'un couplage étoile ou zig-zag.
- **La terre** est la masse conductrice de la terre, dont le potentiel électrique en chaque point est considéré comme égal à zéro.
- **Une masse** est la partie conductrice d'un matériel électrique susceptible d'être touchée par une personne, qui n'est normalement pas sous tension, mais qui peut le devenir en cas de défaut d'isolement des parties actives de ce matériel.

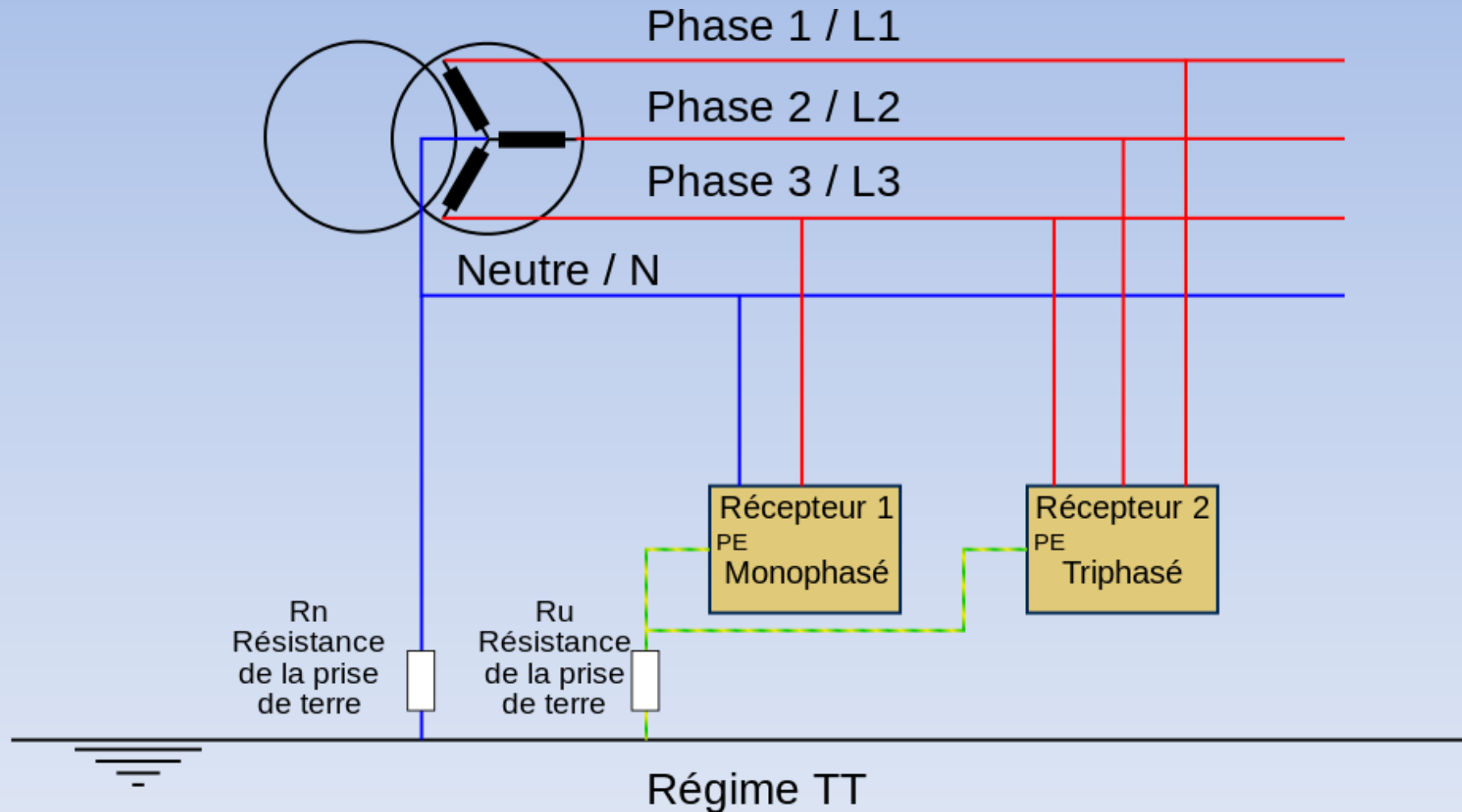
	Situation du neutre	Situation des masses
Régime TT	Neutre relié à la Terre	Masses reliées à la Terre
Régime TN	Neutre relié à la Terre	Masses reliées au Neutre
Régime IT	Neutre Isolé de la Terre ou Impédant	Masses reliées à la Terre

- Temps de coupure maximal en secondes pour les circuits terminaux (NF C 15-100 paragraphe 411.3.2.2) :

	50V < U ₀ ≤ 120V		120V < U ₀ ≤ 230V		230V < U ₀ ≤ 400V		U ₀ > 400V	
	alternatif	continu	alternatif	continu	alternatif	continu	alternatif	continu
TN ou IT	0,8s	5s	0,4s	5s	0,2s	0,4s	0,1s	0,1s
TT	0,3s	5s	0,2s	0,4s	0,07s	0,2s	0,04s	0,1s

U₀ étant la tension simple entre phase et neutre (V)

Schéma TT (neutre relié à la terre)



- **Le neutre du transformateur est relié à la terre, et les masses** des équipements des utilisateurs disposent de leur propre raccordement **à la terre**.
- Ce schéma de liaison à la terre est obligatoire chez les particuliers (NF C15-100).
- L'emploi d'un DDR (**Dispositif Différentiel Résiduel**) est obligatoire en tête d'installation pour assurer la protection des personnes.

- **la valeur maximale de prise de terre:**

Le calibre de la protection différentielle à l'origine de l'installation est pris en compte pour le calcul de **la valeur maximale de prise de terre** :

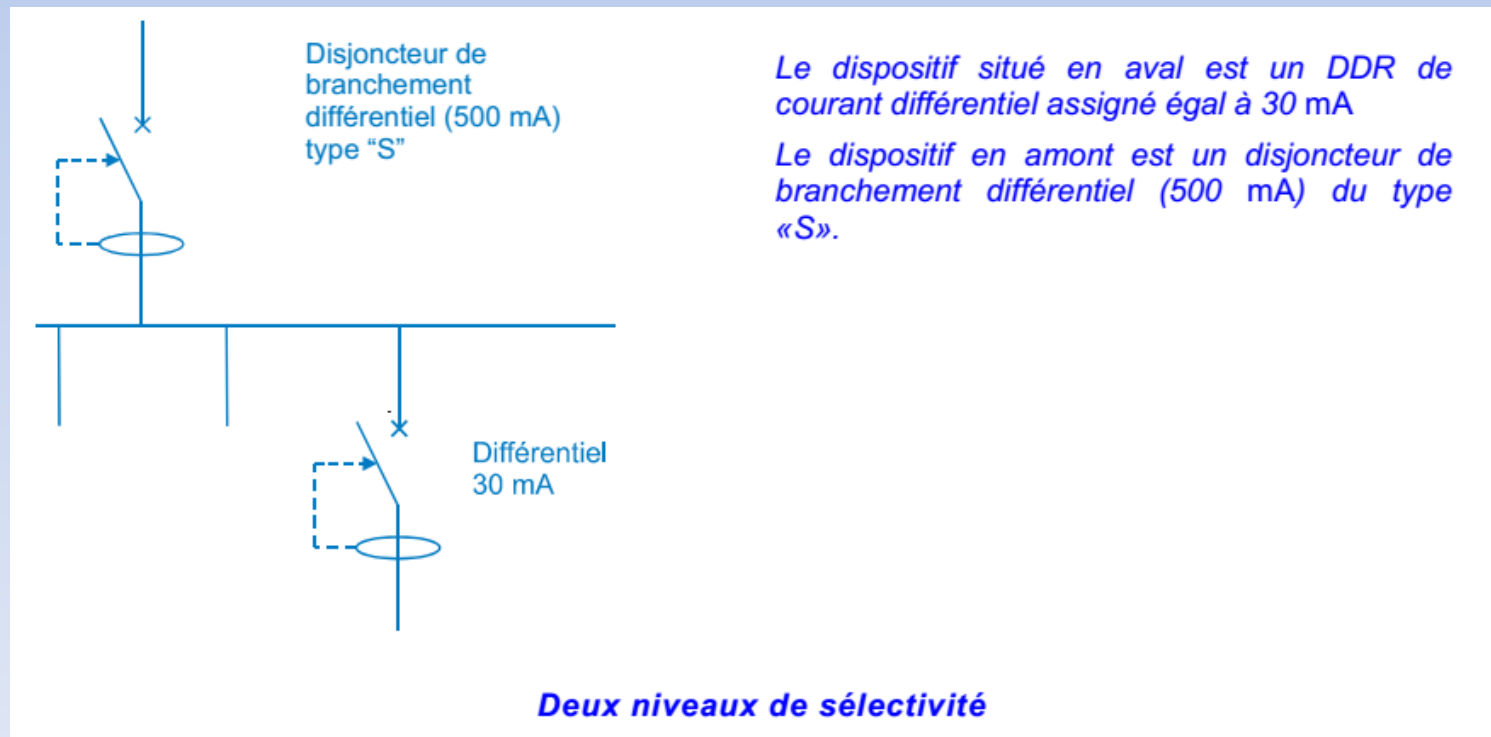
$$R = U / I = 50 / 0,5 = 100 \text{ ohms, avec :}$$

- *U : tension égale à **50V** dite **tension de sécurité** (niveau d'isolement de la peau dans des conditions sèches). Exprimée en volts,*
- *I : courant assigné du DDR à l'origine de l'installation (500 mA). Exprimé en ampères,*
- *R : résistance de la prise de terre. Exprimée en ohms.*

Valeur maximale de la prise de terre en fonction du courant assigné du DDR

COURANT DIFFÉRENTIEL-RÉSIDUEL MAXIMAL ASSIGNÉ DU DDR ($I_{\Delta n}$)		VALEUR MAXIMALE DE LA RÉSISTANCE DE LA PRISE DE TERRE DES MASSES (ohms)
<i>Basse sensibilité</i>	20 A 10 A 5 A 3 A	2,5 5 10 17
<i>Moyenne sensibilité</i>	1 A 500 mA 300 mA 100 mA	50 100 167 500
<i>Haute sensibilité</i>	$\leq 30 \text{ mA}$	> 500

- La valeur du courant résiduel maximum dépend de la réglementation du pays. Un DDR de 500 mA ou 300 mA en tête d'installation ainsi que celui de valeur maximale 30 mA sur les circuits prises est obligatoire si la résistance de dispersion à la terre est inférieure à 30 ohms.
- Pour les salles d'eau (douches et salles de bain), le DDR 30 mA est obligatoire (sauf cas des appareillages en TBTS) (voir NF C 15-100).



• Calcul du courant de défaut et de la tension de contact

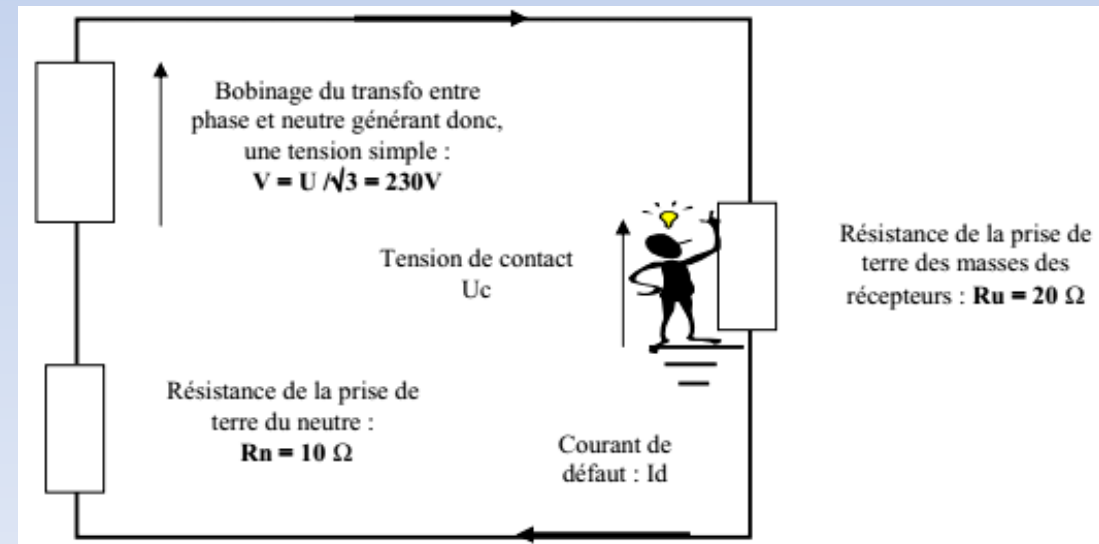
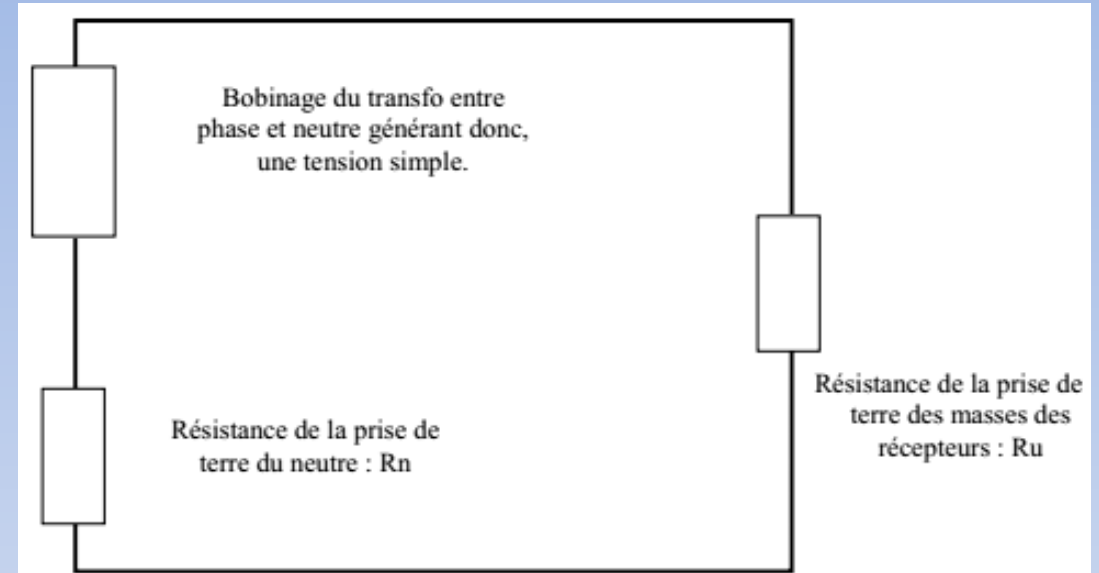
Exemple 1:

Si on considère que le transformateur est un transformateur 20kV / 400V, que la résistance de la prise de terre des masses des récepteur égale 20Ω et que la résistance de la prise de terre du neutre égale 10Ω , on peut calculer le courant de défaut I_d :

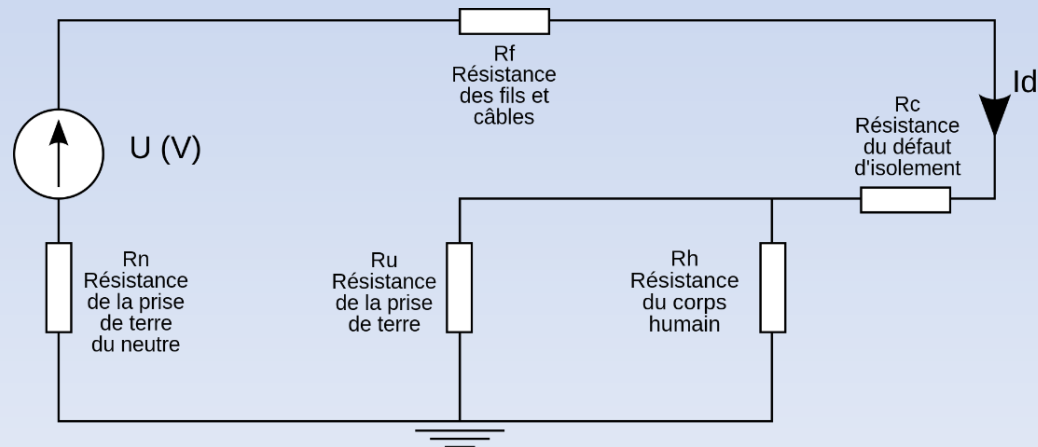
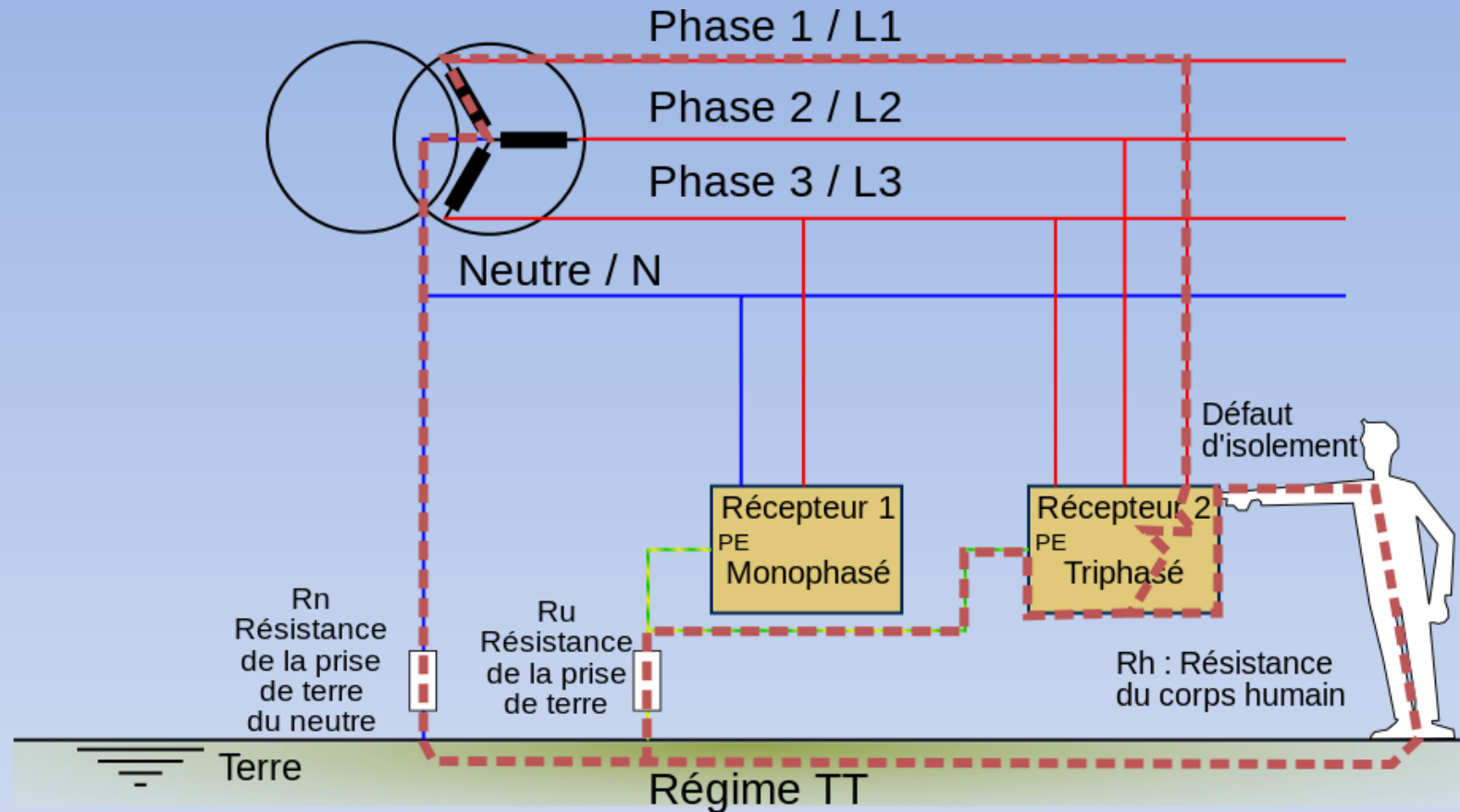
En appliquant la loi d'Ohm à ce circuit on peut écrire pour calculer le courant de défaut :

$$I_d = V / (R_n + R_u) = 230V / (20 + 10) = 7,7A$$

Si une personne touche une masse des récepteurs en défaut, elle sera soumise à la tension de contact U_c que l'on peut calculer : $U_c = R_u \times I_d = 20 \times 7,7 = 154 V$
Cette tension est dangereuse quelque soit la tension limite choisie et il faut donc couper, le plus rapidement possible, pour protéger les personnes.



Exemple 2



$$I_d = \frac{U}{R_f + R_c + R_n + \left(\frac{R_u * R_h}{R_u + R_h} \right)}$$

$$U_c = \left(\frac{R_u * R_h}{R_u + R_h} \right) * I_d$$

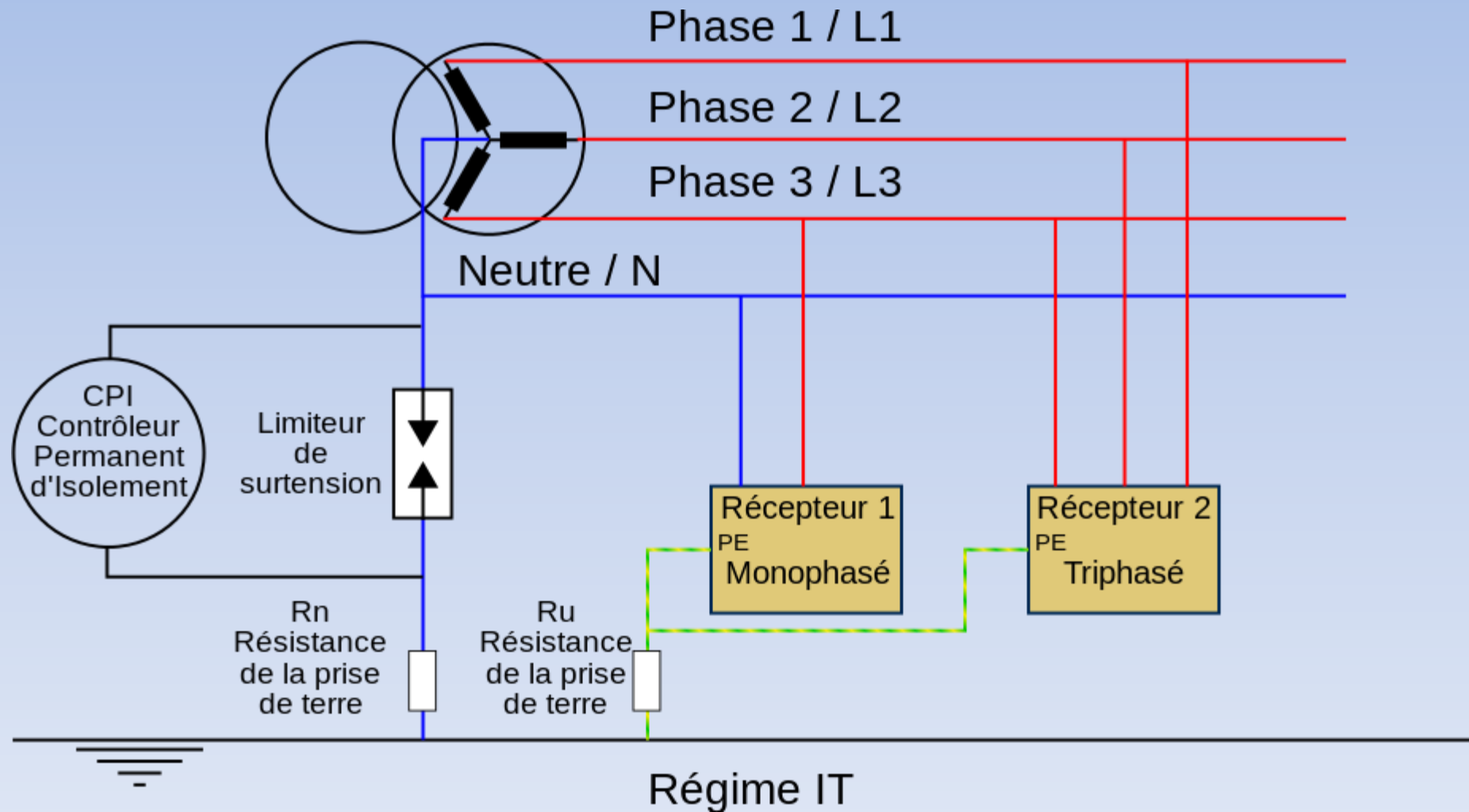
$$I_d = \frac{230}{0.1 + 0 + 18 + \left(\frac{25 * 1000}{25 + 1000} \right)} = 5,41 \text{ A}$$

$$U_c = 24,4 * 5,41 = 132 > 50 \text{ V}$$

- La tension de contact est donc dangereuse même en milieu sec. Il est nécessaire de mettre en place un dispositif de protection contre les contacts indirects (Dispositif Différentiel Résiduel). En effet, l'intensité traversant le corps humain sera de $I = U / R = 132 / 1000 = 132 \text{ mA}$. C'est l'intensité traversant le corps humain et la durée de l'électrisation qui représente un danger. L'intensité dépend de la tension de contact et de la résistance du corps humain (milieu sec, humide...). Un courant de 132 mA traversant une personne pendant 1 seconde est fatal pour un être humain.
- Le temps de coupure pour le SLT TT est également défini dans la norme NF C 15-100 et doit être inférieur à 200 ms pour une tension d'utilisation de 230 V.

	50V < U0 ≤ 120V		120V < U0 ≤ 230V		230V < U0 ≤ 400V		U0 > 400V	
	alternatif	continu	alternatif	continu	alternatif	continu	alternatif	continu
TN ou IT	0,8s	5s	0,4s	5s	0,2s	0,4s	0,1s	0,1s
TT	0,3s	5s	0,2s	0,4s	0,07s	0,2s	0,04s	0,1s

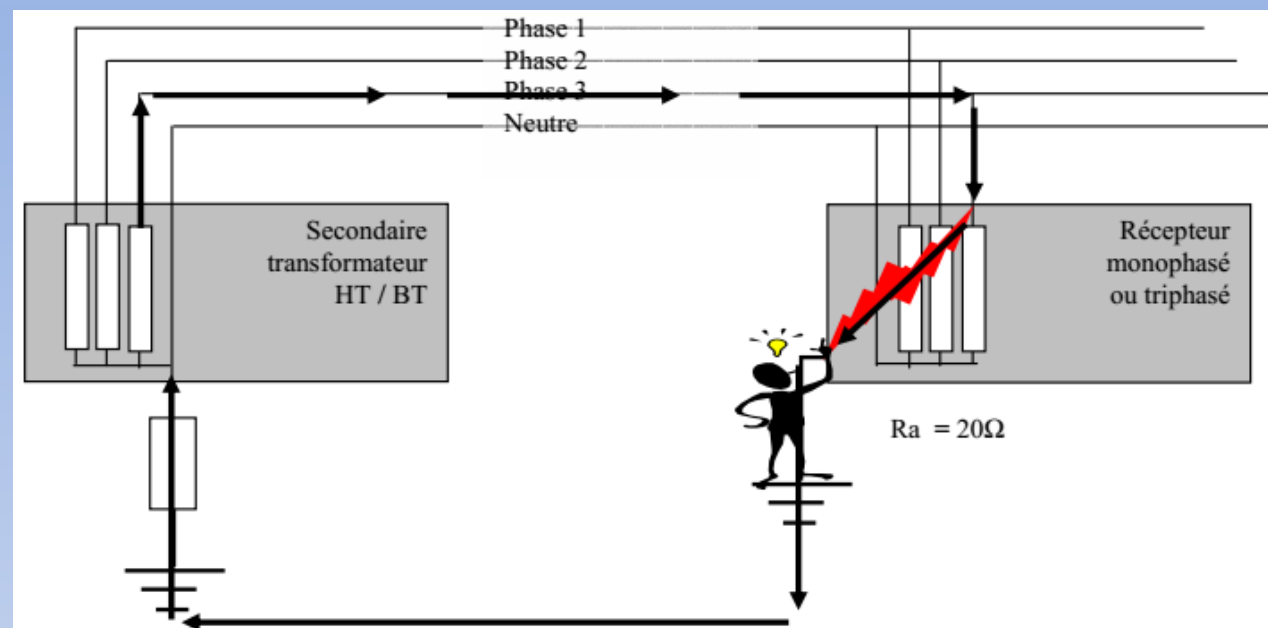
Schéma IT (Neutre Isolé)



- La caractéristique principale de ce schéma est que le point neutre du transformateur en amont de l'installation est complètement isolé de la terre (il est dit « flottant », grâce à l'isolation galvanique propre au transformateur). Les trois phases et surtout le neutre ne sont pas reliés à la terre, contrairement aux autres schémas. En réalité, le neutre peut être relié à la terre via les capacités parasites des câbles, ou volontairement via une impédance de forte valeur (typiquement $1\ 500\ \Omega$). Les masses utilisateur sont interconnectées normalement et reliées à la terre.
- On parle de **premier défaut** lorsqu'une des trois phases est connectée involontairement (par un appareil ou un utilisateur) à une masse métallique (qui est elle-même reliée à la terre).
- On parle de **second défaut** lorsqu'un deuxième contact apparaît entre l'une des deux autres phases et une masse métallique (sur un autre appareil de l'installation, ou sur le même appareil comportant le premier défaut); le premier défaut étant quant à lui toujours actif.

- Dans le cas d'un **premier défaut, il n'existe en théorie aucun danger** pour les personnes et les appareillages : du fait de l'isolation du transformateur en amont, le fait de mettre une phase à la terre n'induit aucun courant électrique.
- Contrairement aux autres schémas, **ce cas n'oblige pas la coupure de la fourniture d'électricité** : ce point très important explique son utilisation dans les domaines où la fourniture d'électricité est vitale : blocs opératoires des hôpitaux, locaux à risques d'explosion, installations d'éclairage de sécurité, ainsi que les domaines industriels qui ont un impératif de continuité de service tel que les fonderies qui auraient beaucoup à perdre financièrement si elles devaient se remettre en chauffe à chaque défaut.
- Si le premier défaut n'est pas rapidement traité, **un second défaut peut apparaître et s'avérer dangereux, voire mortel**. C'est pourquoi on conserve les disjoncteurs. En effet, lorsque le deuxième défaut apparaît, cela entraîne un court-circuit entre 2 phases et donc, dans le pire des cas, un seul des 2 disjoncteurs correspondant aux départs en défaut se déclenche. Dans ce dernier cas, on se retrouve donc à la situation d'un seul défaut mais avec une productivité diminuée car il faut résoudre impérativement la panne avant de réenclencher le disjoncteur ou les disjoncteurs si ce sont les 2 qui se sont déclenchés.

- Afin d'éviter ce cas de figure il est donc nécessaire d'utiliser **un contrôleur permanent d'isolement (CPI)** pour signaler un premier défaut. Ce contrôleur doit signaler le défaut à une équipe de maintenance qui doit partir à sa recherche. Les normes de sécurité imposent donc la disponibilité permanente d'un personnel de maintenance qualifié sur le site.
- Si le neutre est isolé de la terre, en fonctionnement normal, le réseau est relié à la terre par l'impédance de fuite du réseau (cette impédance de fuite à la terre d'un câble triphasé, de longueur 1km est égale à 3200Ω) : **c'est le schéma IT dit à neutre isolé.**
- Pour bien fixer le potentiel d'un réseau en IT par rapport à la terre, il est conseillé, surtout s'il est court, de placer une impédance (**$Z_n = 1500\Omega$**) entre le neutre du transformateur et la terre : **c'est le schéma IT dit à neutre impédant.**



- Quelque soit le cas, on se retrouve avec un schéma équivalent à celui du régime TT:
- Le courant de défaut I_d :
 - $I_d = 230 / 3200 = 0,07A$ (N isolé)
 - $I_d = 230 / 1500 = 0,15 A$ (N impédant)
- Ce dernier génère une tension de contact U_c :
 - $U_c = 20 \times 0,07 = 1,4 V$
 - $U_c = 20 \times 0,15 = 3 V$
- Cette tension de contact, inférieure à **50V**, très faible, inoffensive permet d'éviter la coupure de l'alimentation. On continuera donc à travailler malgré ce défaut d'isolement mais par contre il faut prévenir de l'existence de ce problème : On installera donc un Contrôleur Permanent d'isolement qui, comme son nom l'indique contrôle en permanence l'isolement de l'installation et prévient dès l'apparition d'un défaut.

- **Mise en œuvre d'un schéma IT**

fonctions minimales à assurer	appareillage	exemple
protection contre les surtensions à fréquence industrielle	1 : limiteur de surtension	Cardew C
impédance de limitation (pour neutre impédant seulement)	2 : impédance	impédance Z_x
contrôle global de l'isolement et signalisation du défaut simple	3 : contrôleur permanent d'isolement	Vigilohm TR22A ou ou XM100
coupure automatique au deuxième défaut	4 : protection omnipolaire	disjoncteur Compact ou DDR-MS
protection du neutre contre les surintensités		
localisation du défaut simple	5 : avec dispositif de recherche sous tension (ou par ouverture successive des départs)	Vigilohm System

Tableau F54 : Fonctions à réaliser en schéma IT.

Ce tableau indique les dispositions à prendre pour qu'une installation IT (à neutre isolé ou impédant) soit conforme à la norme NF C15-100 et au décret de protection des travailleurs lorsque toutes les masses sont interconnectées et mises à la terre.

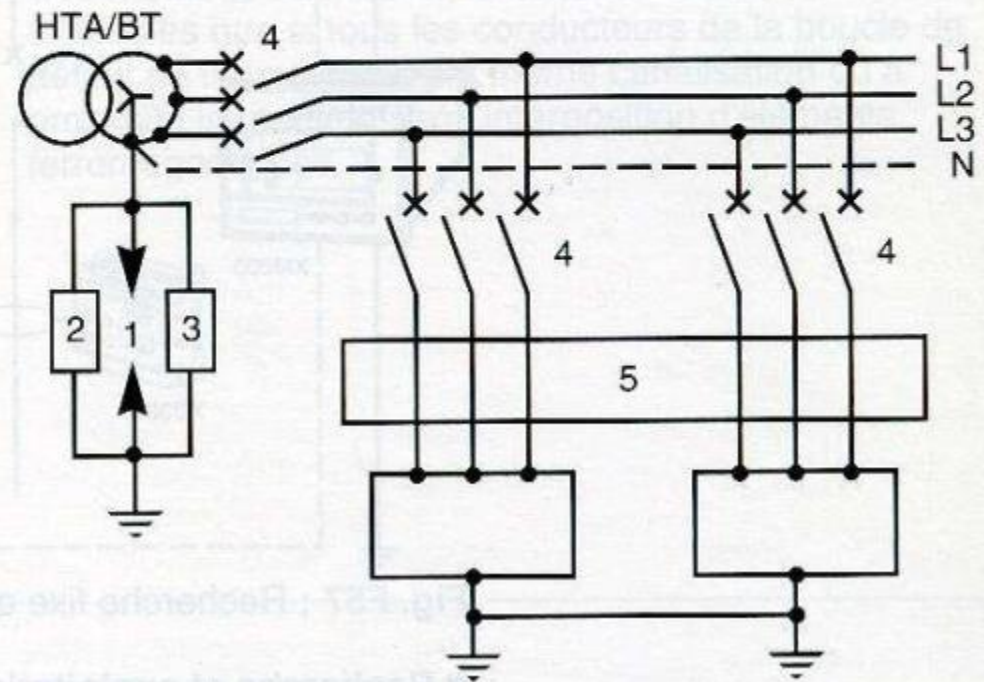


Schéma TN

Dans le SLT TN, le neutre du secondaire du transformateur est relié à la terre et les masses utilisateurs sont connectées au conducteur de protection (nommé PE : Protection Équipotentielle principale) lui-même relié à la prise de terre. L'ensemble est donc interconnecté à une barre collectrice en cuivre à laquelle est connectée la prise de terre en fond de fouille.

Les normes CEI 60364 et NF C 15-100 définissent 3 sous-schémas pour le SLT TN :

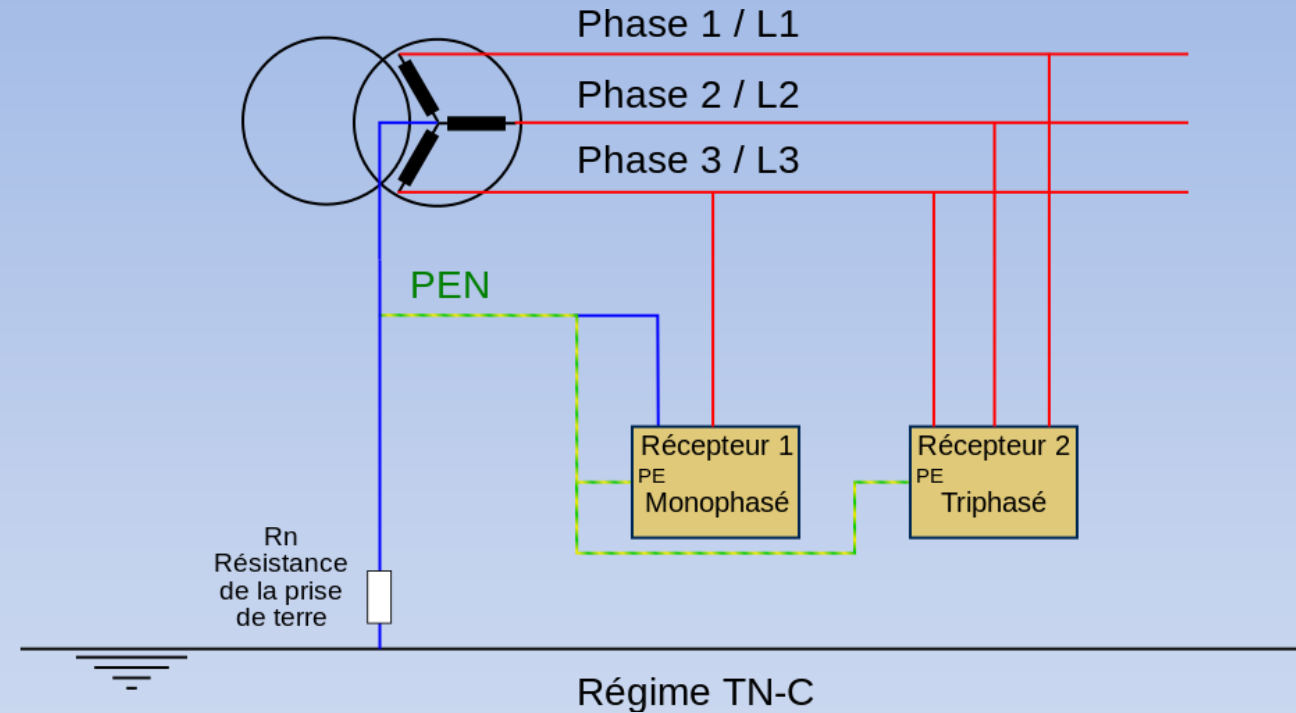
TN-C (terre et neutre commun)

TN-S (terre et neutre séparé)

TN-C-S (TN-C pour les circuits principaux et TN-S pour les circuits terminaux et section des conducteurs $< 10 \text{ mm}^2$ cuivre et $< 16 \text{ mm}^2$ aluminium).

TN-C

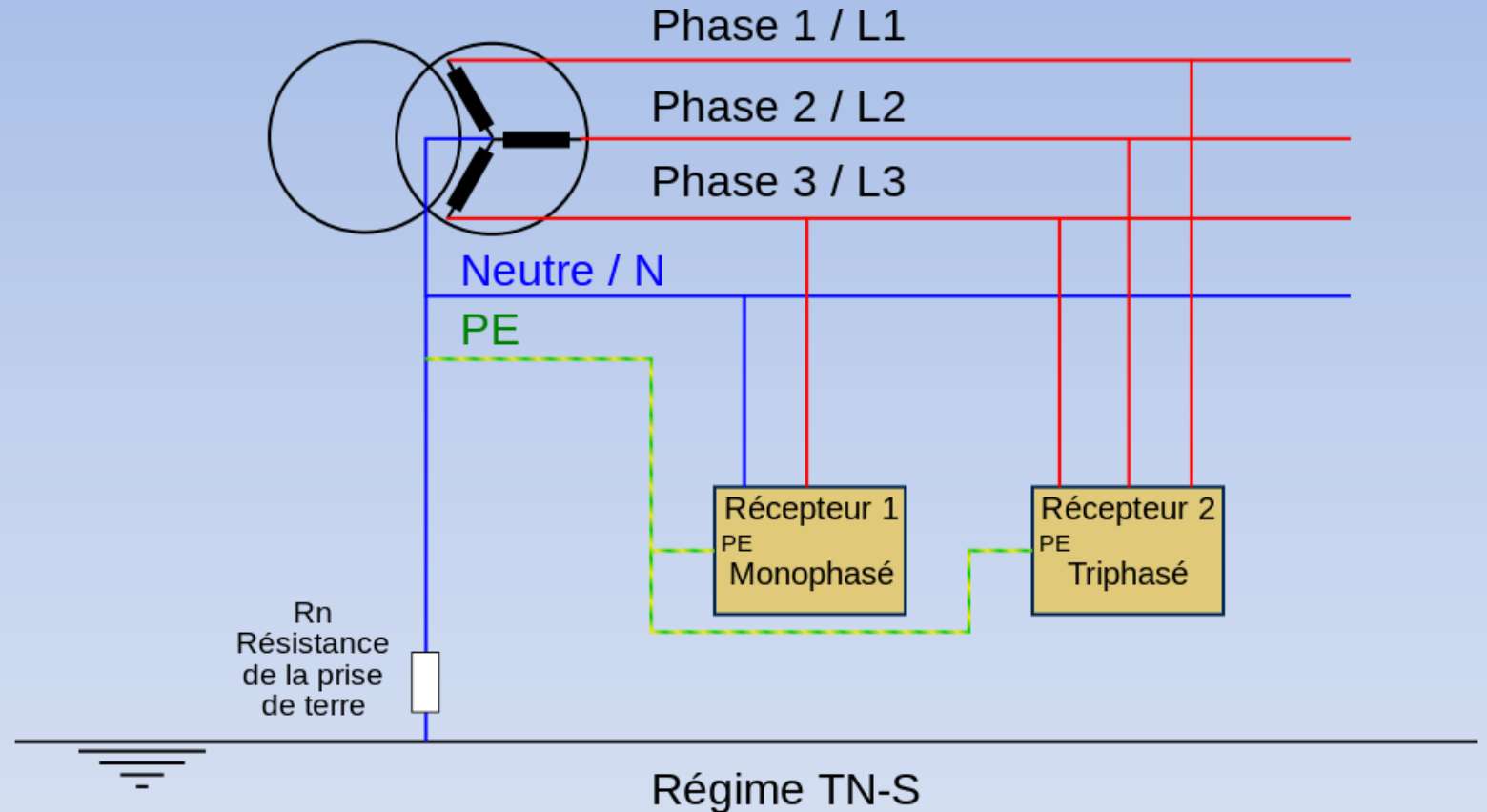
- Dans le TN-C (Terre Neutre Confondus), les conducteurs de neutre (N) et de protection (PE) sont confondus pour former le **PEN**.
- Ce SLT permet **d'économiser un fil** (ainsi qu'un pôle sur chacun des appareils de protection).
- Si le poste de transformation est à l'intérieur d'un bâtiment, pour la mise à la terre des masses du poste, les prises de terre des masses du poste et du neutre de l'installation à basse tension sont de fait électriquement confondues.



- Le courant de défaut n'étant limité que par l'impédance des câbles, l'intensité de court circuit est plus importante. Le schéma de liaison à la terre TN-C est interdit par la norme NF C 15-100 dans les locaux où il y a un risque d'incendie ou d'explosion.
- Le TN-C est interdit pour les réseaux ayant des conducteurs avec une section $< 10 \text{ mm}^2$ en Cuivre ou une section $< 16 \text{ mm}^2$ Aluminium (D'après la norme NF C 15-100).

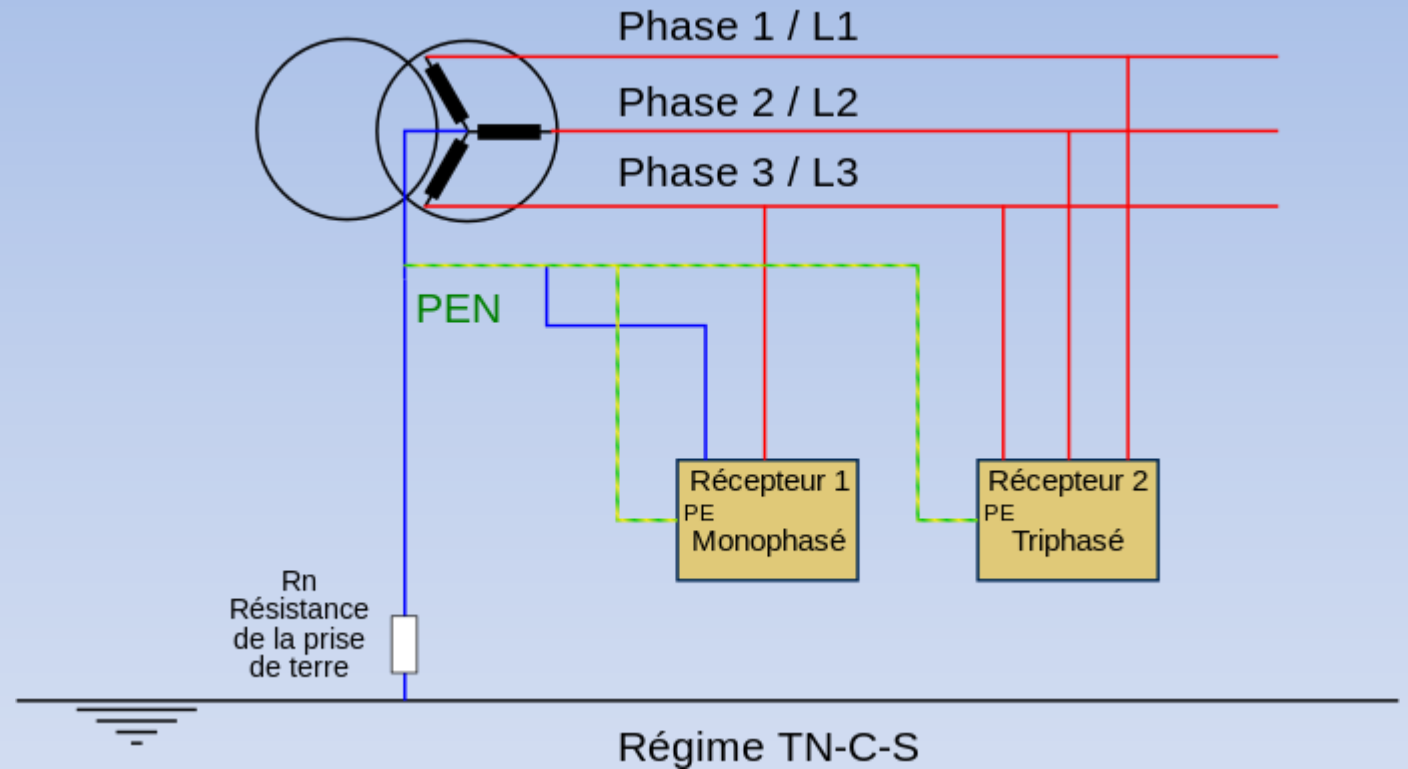
TN-S

- Dans le TN-S, le conducteur de protection et le conducteur neutre sont reliés uniquement au poste de distribution et à aucun autre point.
- Le TN-S est obligatoire pour les réseaux ayant des conducteurs avec une section inférieure à 10 mm^2 en Cuivre ou une section inférieure à 16 mm^2 en Aluminium.

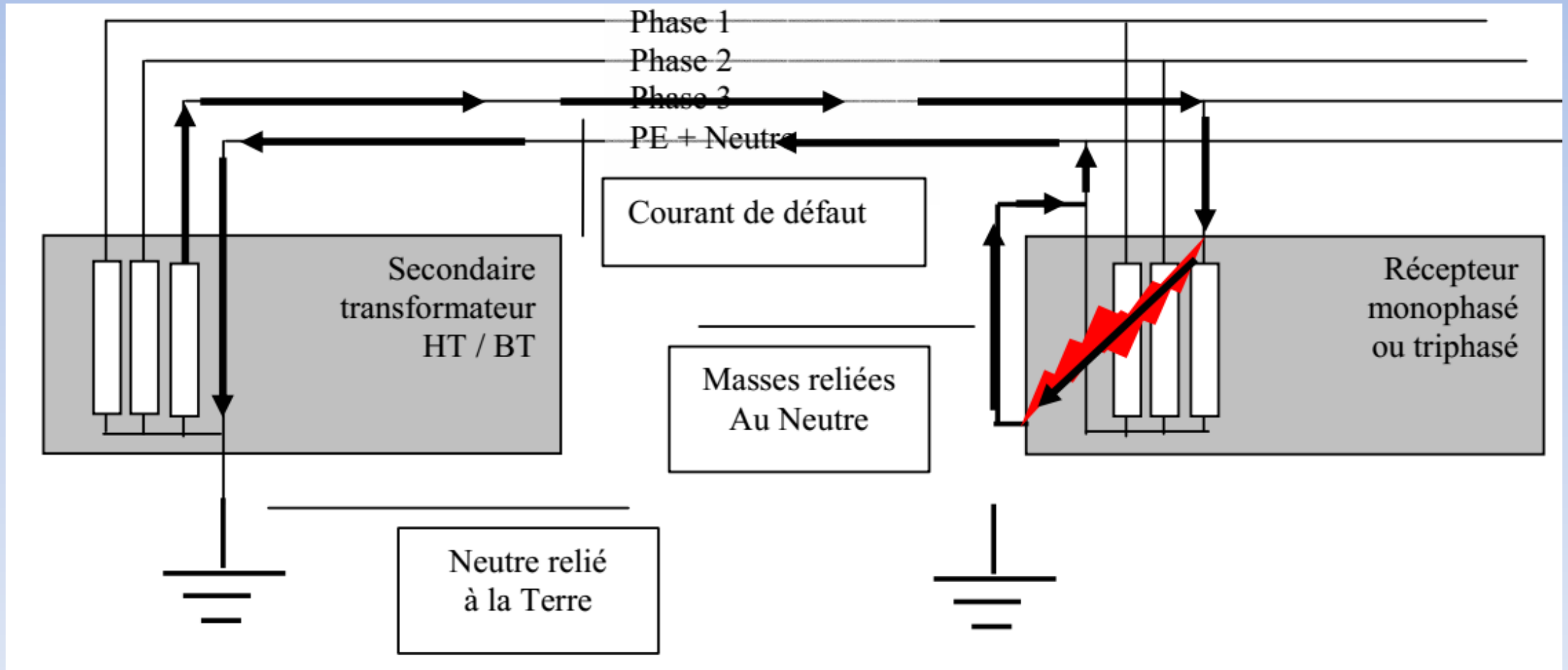


TN-C-S

- Le conducteur de protection (PE) et le neutre (N) sont confondus du transformateur jusqu'au point de distribution, et ensuite séparés sur les circuits terminaux et section de conducteur $< 10 \text{ mm}^2$ cuivre.
- On peut aussi trouver une résistance qui relie le neutre à la terre. Cela permet de limiter le courant de court circuit d'une centaine d'ampères. Donc I_d (Courant de Défaut) sera fonction de la résistance (Si R élevée.... I_d faible).



Un courant de défaut quitte le transformateur par la phase 3, traverse le récepteur et rejoint le neutre (puisque les masses sont reliées au neutre). Cela provoque un court-circuit entre phase et neutre.



Références bibliographiques

- https://fr.wikipedia.org/wiki/Sch%C3%A9ma_de_liaison_%C3%A0_la_terre
- S1-3-Schémas de liaison à la terre BTA, ONED
- Norme française C 15-100
- Journal officiel Algérien, décret exécutif n 01 342 du 28 octobre 2001, relatif aux prescriptions particulières de protection et de sécurité des travailleurs contre les risques électriques au sein des organismes employeurs.