

PROTECTION DES PERSONNES ET DES BIENS

1. Présentation

Comme nous le verrons ci-dessous, un réseau de distribution d'énergie électrique possède un conducteur particulier, le neutre.

Le neutre est assimilé au conducteur de retour du courant vers le générateur, cette vision est calquée sur le circuit électrique en continu.

Un régime du neutre est la façon de traiter ce conducteur afin de répondre au mieux à des exigences souvent contradictoires.

Ce texte est une présentation simplifiée des différents régimes du neutre, il n'a pas la prétention d'être complet.

2. Les contraintes

Nous serons amenés à distinguer les exigences d'un régime du neutre,

- En milieu domestique
- En milieu industriel

Mais dans les deux cas on se penche sur les problèmes

- De sécurité des personnes afin d'éviter les électrocutions et les blessures
- De sécurité du matériel, sa dégradation, sa destruction, éviter l'incendie ou l'explosion dans les locaux à risques.

3. Les exigences

3.1. En milieu domestique

L'unique préoccupation est d'éviter l'électrocution des personnes. Les mesures prises sont radicales à cause de la nécessité

- D'éviter toute situation dangereuse
- D'avoir un prix de revient le plus faible possible.

La simplicité d'un réseau domestique permet de négliger un certain nombre de phénomènes parasites.

3.2. En milieu industriel

Là encore, la sécurité des personnes et du matériel sont des préoccupations importantes. Il s'y ajoute la nécessité de la **continuité de service** et des problèmes spécifiques comme les risques d'incendie ou d'explosion.

4. Les dangers de l'électricité

4.1. Les dangers pour les personnes

L'électrocution qui est un contact mortel avec l'électricité

Les brûlures provoquées par l'arc électrique ou par des projections de métal en fusion.

Les troubles oculaires produits par la lumière intense dégagée par l'arc électrique.

Pour rester simple dans le cadre de ce texte nous dirons que le danger représenté par le passage d'un courant dans le corps dépend de son intensité et de sa durée. Pour fixer les idées, retenir qu'un courant de 30 mA commence à être dangereux.

Les mesures de protection qui seront prises tiendront compte de ces valeurs.

4.2. Les dangers pour le matériel

La destruction par échauffement des isolants

Les risques d'explosion et d'incendie consécutifs à un accident.

L'interruption de service par déclenchement des sécurités.

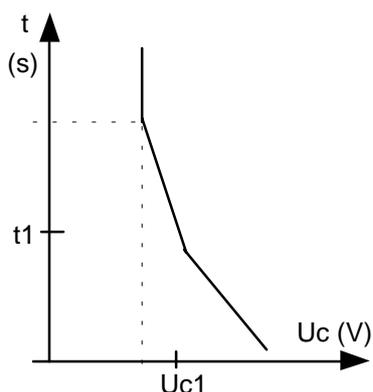
4.3. Les courbes de sécurité

Nous avons dit, au §4.1 que le danger du courant électrique dépend de l'intensité du courant passant dans le corps et de sa durée. Or il est plus facile de définir une tension et une durée dangereuses.

Ce qui sous-entend que l'on a défini une résistance du corps humain (R_h).

En effet, on peut calculer la tension dangereuse par $U_c = R_h \cdot I_d$

Les résultats sont résumés sur un graphique : **la courbe de sécurité**.



Les pointillés indiquent le seuil de danger. Prenons l'exemple de la tension U_{c1} , elle est dangereuse si elle dure plus de t_1 . Il faut donc que le dispositif de sécurité¹ ouvre le circuit en un temps inférieur à t_1 .

Cette courbe sert à s'assurer que la protection est bien choisie.

Attention : cette courbe est simplifiée.

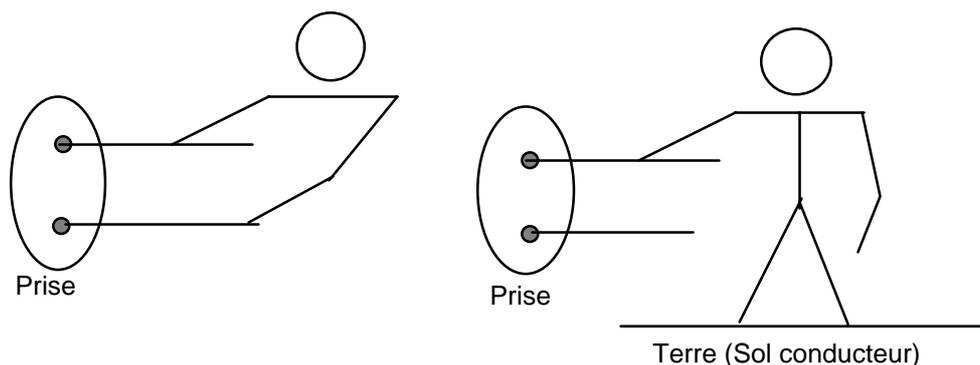
5. Les limites de la protection des personnes

Les techniques mises en œuvre ne peuvent rien pour éviter le danger d'un contact direct entre les deux conducteurs d'alimentation (voir le schéma de gauche ci-dessous). Nous allons décrire les moyens employés pour limiter le danger d'un contact entre conducteur sous tension et la terre.

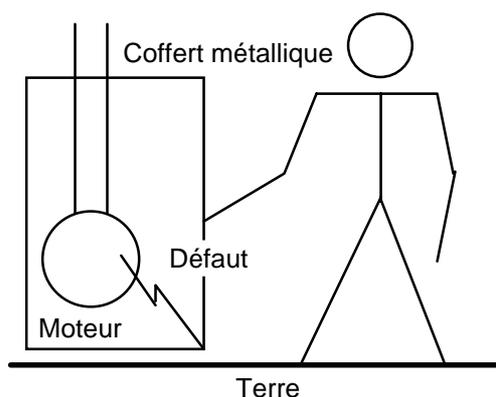
6. Les formes d'électrisation

Nous resterons dans le cadre domestique.

6.1. Les contacts directs



6.2. Les contacts indirects

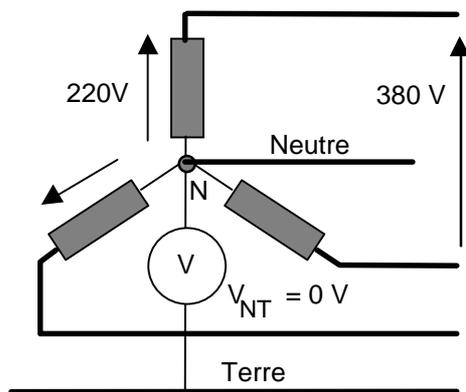


Le moteur présente un défaut d'isolement. Le coffret métallique est en contact avec le conducteur sous tension. Le coffret est dangereux pour l'utilisateur. La machine à laver est un exemple typique.

¹ Fusible ou disjoncteur

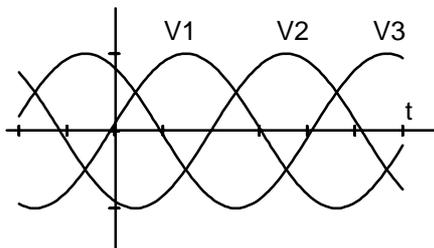
7. Les caractéristiques du neutre

7.1. La distribution industrielle de l'électricité : le triphasé



La centrale électrique produit l'électricité sous forme triphasée. L'alternateur est constitué de trois enroulements qui forment l'équivalent de trois générateurs de tensions alternatives. Comme on peut le voir sur la figure ci-dessous, les trois tensions sont décalées dans le temps. C'est ce qui donne au point N la caractéristique fondamentale suivante : la tension V_{NT} est nulle.

Malheureusement, cette propriété n'est vraie que dans certaines conditions difficilement réalisables pratiquement.



Les trois tensions sont décalées dans le temps.

8. Éviter l'électrocution

Comme nous l'avons déjà dit, il n'existe aucune parade contre un contact entre les deux conducteurs de ligne.

Nous pouvons éviter le danger d'un contact direct ou indirect entre un conducteur et la terre.

L'appareillage doit être capable de reconnaître une situation dangereuse et de réaliser l'action prévue. Cette action dépend du milieu dans lequel il se trouve.

8.1. Dans le milieu domestique

Les situations dangereuses auxquelles on peut remédier sont les suivantes :

- Un défaut d'isolement met une enveloppe métallique sous tension, il y a risque de contact indirect.
- Un contact direct se produit entre un conducteur et la terre
- Il y a un court-circuit.

L'appareillage doit couper immédiatement l'alimentation.

8.2. Dans le milieu industriel

Cette fois il existe des contraintes supplémentaires :

- La continuité de service
- Éviter l'incendie ou l'explosion

La continuité de service est une nécessité pour l'industriel et permet de poursuivre le travail bien qu'il y ait un défaut d'isolement.

Un traitement particulier du conducteur de neutre nous garantit que le premier défaut est sans danger. Par contre le second est dangereux.

Il faut donc que l'appareillage surveille l'apparition du premier défaut d'isolement et qu'il avertisse de son apparition.

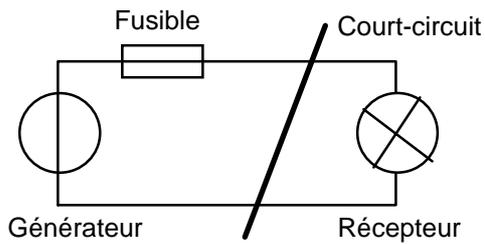
Pour éviter les incendies et les explosions, l'appareillage ne doit produire ni chaleur ni étincelles.

Les contraintes et les actions décrites ci-dessus sont également traitées.

9. Le milieu domestique

Le générateur que nous utilisons représente le secteur c'est-à-dire le système de distribution de l'énergie électrique. Nous n'en voyons qu'une extrémité : la prise de courant.

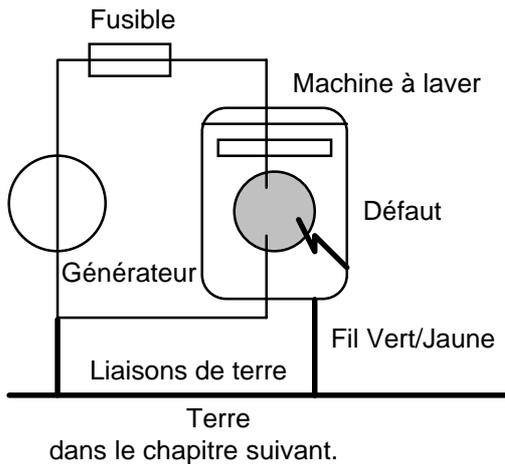
9.1. Traiter le court-circuit



Le courant intense provoqué par le court-circuit fait fondre le fusible. Les fusibles actuels confinent l'arc afin d'éviter les projections, les incendies et, dans une certaine mesure, les explosions.

Actuellement, les fusibles sont remplacés par des disjoncteurs à maximum d'intensité.

9.2. Traiter le défaut d'isolement



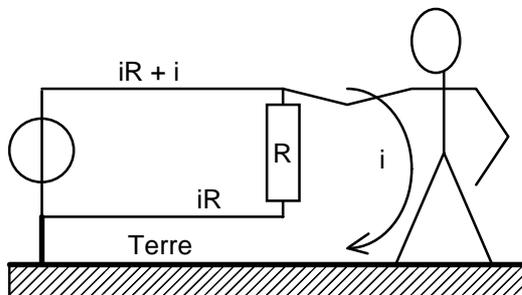
Pour des raisons de simplicité, le défaut d'isolement doit se traduire par un court-circuit et faire fondre le fusible. Le principe est de maintenir les masses métalliques à une tension très faible par rapport à la terre.

Cette méthode met à profit le caractère conducteur de la terre. Pour bien comprendre le schéma il faut se rappeler que le générateur est très éloigné de la machine à laver.

On remarque qu'une extrémité du générateur est reliée à la terre, c'est le **neutre**.

Nous verrons que la prise de terre doit être réalisée avec beaucoup de soins. Ce procédé est rudimentaire, il a été amélioré par l'emploi du disjoncteur différentiel comme nous allons le voir

9.3. Traiter le contact entre un conducteur et la terre ou le contact indirect



L'analyse de l'accident montre que le courant dangereux, i , circule dans un conducteur de ligne mais pas dans l'autre. Le dispositif de sécurité doit vérifier l'absence de courant i .

On appelle le courant i , courant résiduel. L'expression "disjoncteur différentiel" est l'appellation courante pour "dispositif différentiel à courant résiduel" (**DDR**).

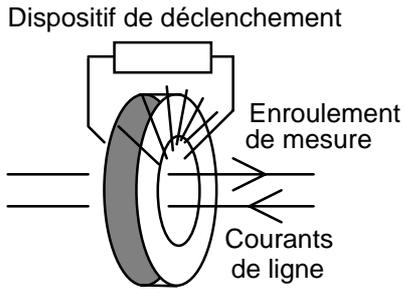
10. Le disjoncteur différentiel

Nous allons détailler les fonctions du disjoncteur différentiel. On pourrait comparer le disjoncteur à un interrupteur à ouverture automatique. L'ouverture se produit dans un certain nombre de conditions

10.1. Interrupteur à maximum d'intensité

L'interrupteur s'ouvre si le courant qui le traverse, dépasse une valeur de réglage. C'est l'équivalent du fusible avec la possibilité de réarmer.

10.2. Vérifier l'absence de danger : le déclencheur

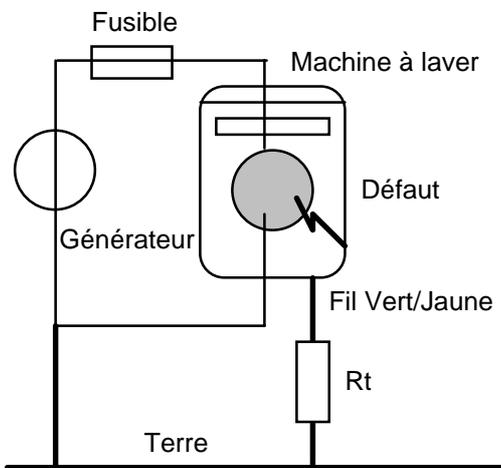


Le détecteur utilise le principe du transformateur. Les deux conducteurs de ligne traversent un anneau ferromagnétique. Lorsque tout est normal, les champs magnétiques produits par les deux conducteurs s'annulent car les courants sont égaux. En cas de présence de courant dangereux, l'équilibre est rompu et l'enroulement de mesure s'en rend compte. Il provoque l'ouverture instantanée du disjoncteur. Le détecteur est sensible au **courant résiduel**.

Le disjoncteur est donc constitué de deux entités : l'interrupteur et le déclencheur

11. La prise de terre

Le succès de toutes ces méthodes de protection, dépend de la qualité de la prise de terre. La qualité de la prise de terre est quantifiée par sa résistance. Dans le domaine domestique, la terre est réalisée par un pieu métallique enfoncé dans la terre. La résistance de terre est mesurée par un appareil spécial qui fait intervenir plusieurs pieux enfoncés à distances données.



Le dessin fait apparaître la résistance de terre R_t . Le courant de défaut traverse R_t , elle présente à ses bornes une différence de potentiel. Il existe une tension entre la machine à laver et la terre. Si la résistance de terre est grande, le courant de défaut est insuffisant pour faire fondre le fusible. La machine à laver est dangereuse.

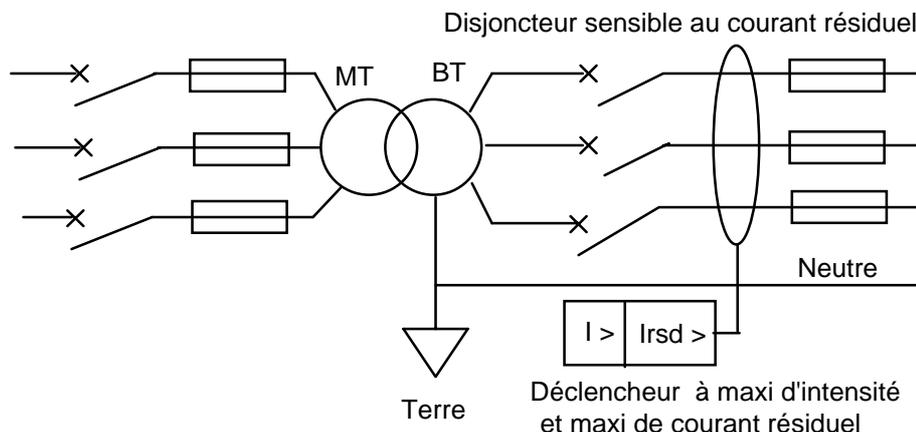
Question : dessinez l'installation ci-contre en remplaçant le fusible par un disjoncteur différentiel. Plaçons-nous dans un cas réel. La tension dangereuse est 24 V, le disjoncteur déclenche si le déséquilibre atteint 30 mA. Calculez la résistance maximale admissible pour R_t .

12. Le réseau de distribution Basse Tension (BT)

Le 230V que nous utilisons quotidiennement et le 400 V industriel sont classés dans la catégorie basse tension.

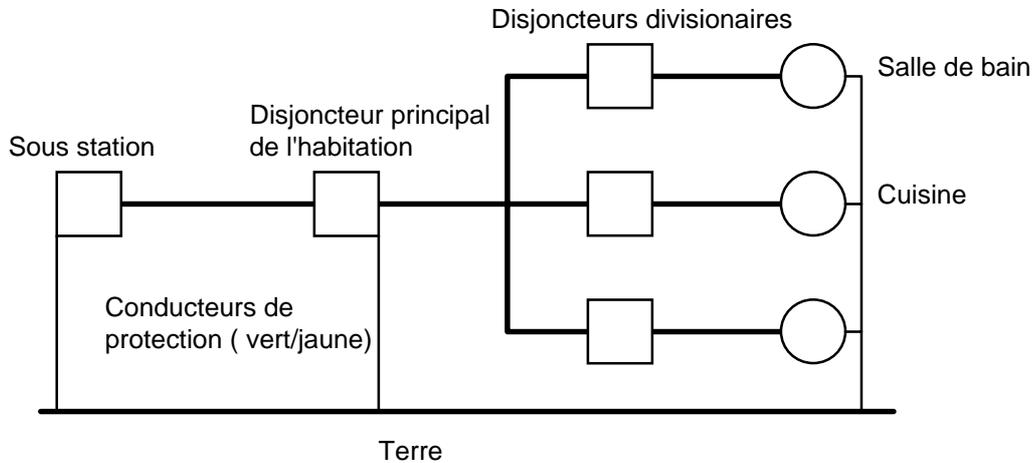
12.1. La sous station

La sous station est l'endroit où s'opère la transformation moyenne tension (MT) vers basse tension (BT). On y retrouve un transformateur, des disjoncteurs et d'autres appareils de protection et de mesure. Le point commun des enroulements du secondaire du transformateur est relié à la terre : c'est le neutre.



12.2. L'installation domestique

Elle comprend un compteur d'énergie, un disjoncteur différentiel, des fusibles ou des disjoncteurs divisionnaires et parfois des disjoncteurs différentiels partiels pour protéger une zone dangereuse comme la salle de bain.



13. Le régime du neutre TT

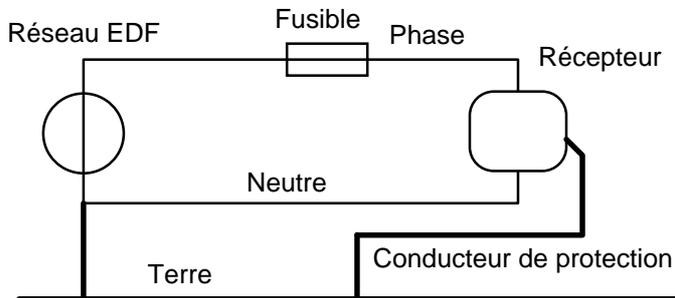
Les régimes du neutre sont désignés par deux ou trois lettres

La première nous dit où est relié le neutre, ici le neutre est relié à la terre T

La deuxième nous dit où est relié le conducteur de protection ici à la terre T

Le régime TT est obligatoire dans les lieux domestiques et aussi au lycée.

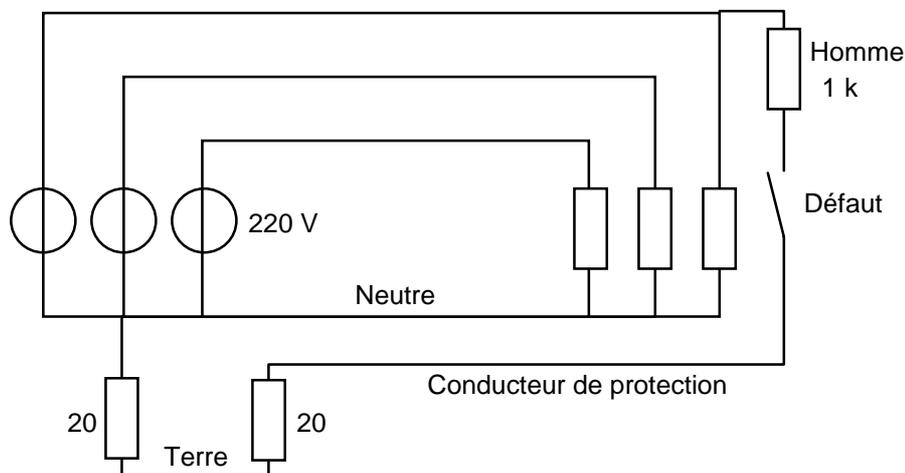
Le schéma suivant illustre ce régime du neutre.

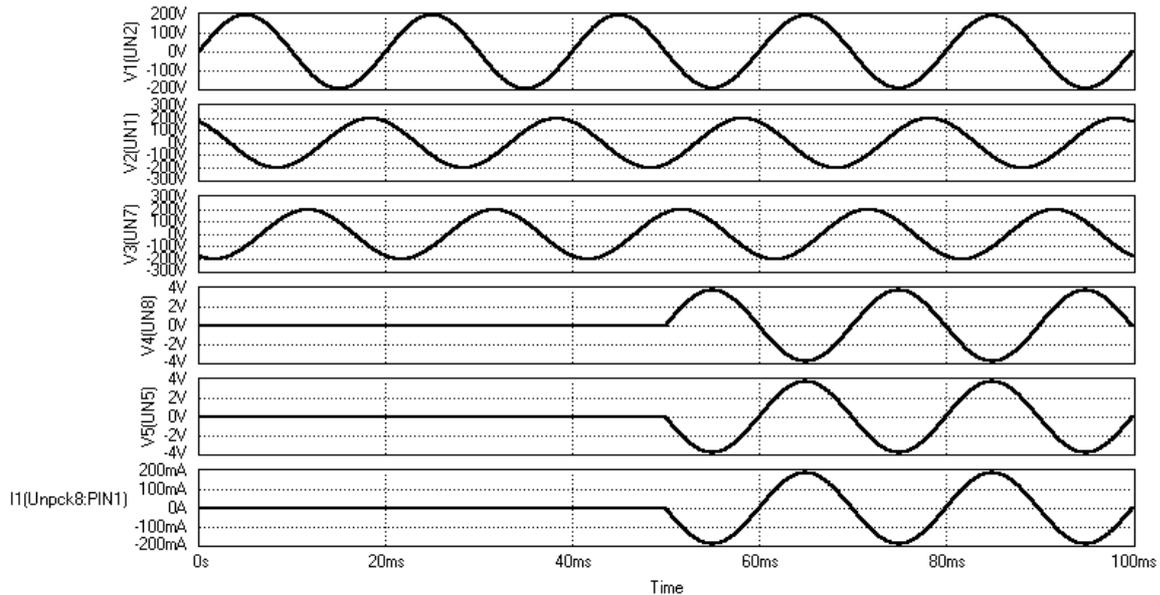


Je rappelle que le conducteur de protection est obligatoirement vert/jaune.

Ce schéma ne fait pas apparaître les résistances de terre et de neutre. Ces résistances existent car le conducteur et le trajet dans la terre présentent une résistance au passage du courant.

13.1. Simulation





Analyse du chronogramme

Le défaut apparaît à l'instant 50 ms, c'est à ce moment que l'homme touche une pièce sous tension. On remarque qu'à partir de cet instant, le courant I1 prend une valeur dangereuse. Le disjoncteur différentiel doit entrer en action le plus rapidement possible. Les tensions du neutre et du conducteur de protection passent à 4V.

14. Le domaine industriel

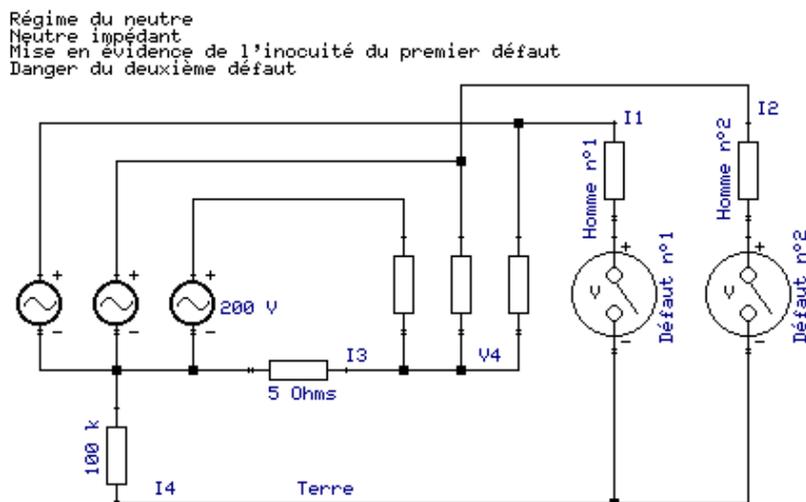
14.1. La continuité de service

La continuité de service est parfois une question primordiale, pensons aux hôpitaux.

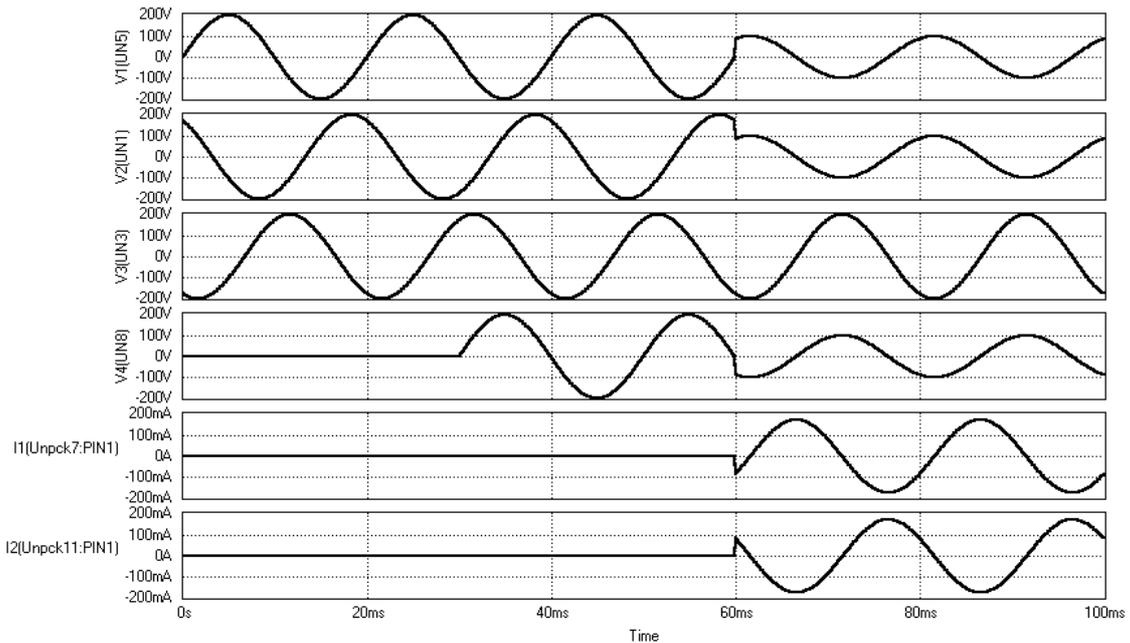
Le schéma ci-dessous donne une vue simplifiée du régime du neutre adopté : le neutre impédant. Ce régime est symbolisé par les lettres IT

Le neutre est relié à la terre par une forte impédance (I)

Le conducteur de protection est à la terre (T)



Le principe est d'interposer, dans le parcours du courant résiduel, une forte résistance qui limite son intensité à une valeur inoffensive. Le premier défaut est donc sans danger. Il y a nécessité de réparer l'installation car le second défaut serait dangereux.



Analyse du chronogramme

Le premier défaut a lieu à l'instant 30 ms. On remarque qu'il est sans danger pour les deux hommes en effet $I_1 = I_2 = 0$. Par contre le neutre (V4) se trouve à un potentiel élevé par rapport à la terre. Le deuxième défaut, à l'instant 60ms, est dangereux pour les deux hommes. Il faut qu'un appareillage spécifique surveille et annonce l'apparition du premier défaut.

14.2. Pourquoi n'adopte-t-on pas le régime IT systématiquement ?

Le régime IT semble bénéficier de tous les avantages, innocuité du premier défaut. On pourrait songer à l'imposer systématiquement. Or ce n'est pas le cas.

Pour que le premier défaut ne passe pas inaperçu, il faut installer un appareillage spécial. Malgré le défaut, l'installation est toujours opérationnelle et on serait tenté de différer la réparation. Cette réparation doit être faite par un personnel qualifié avec un matériel spécifique.

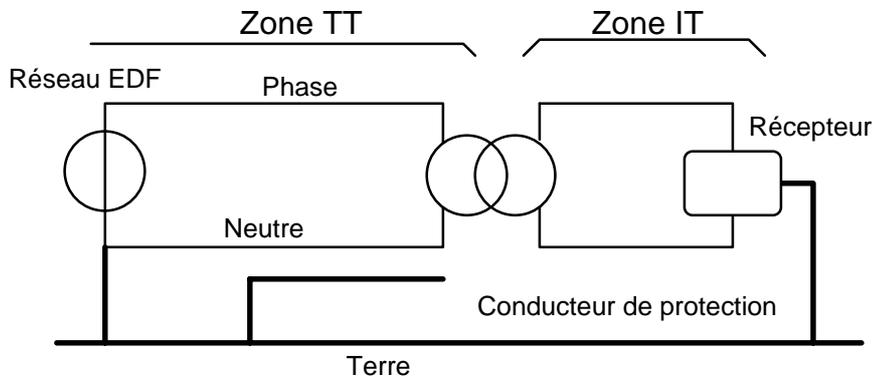
Le régime TT est imposé car

- Il est plus simple et moins coûteux
- Si l'installation est en défaut, elle ne fonctionne pas.

14.3. La création d'un îlot IT

L'îlot IT est une zone d'un établissement dans laquelle le régime du neutre est IT.

L'idée est de supprimer la liaison du neutre à la terre imposée par EDF. Il faut utiliser un transformateur comme le montre le schéma suivant.



À l'intérieur d'un même établissement, on peut créer une zone bénéficiant d'un régime du neutre IT. Ceci se justifie par la nécessité de la continuité de service. En contrepartie les dispositifs de surveillance et de protection sont coûteux et nécessitent la présence d'un personnel qualifié.

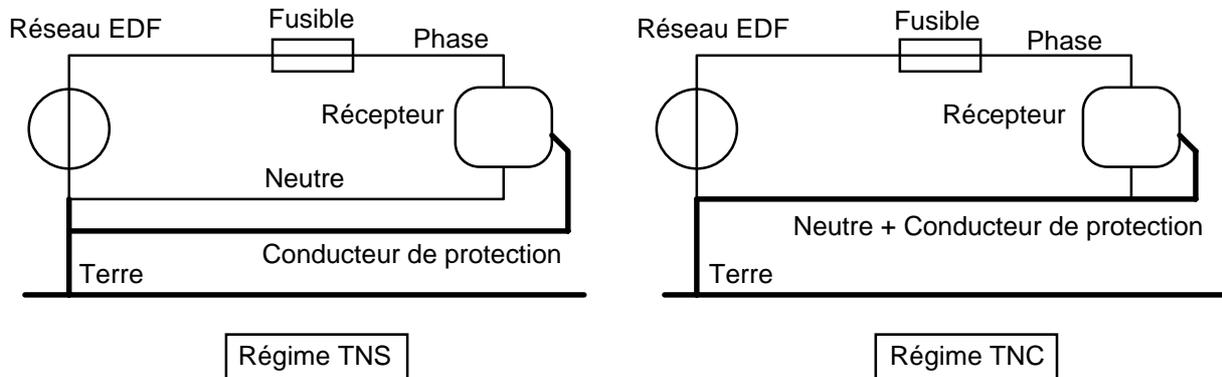
14.4. L'appareillage spécifique

En plus des disjoncteurs il est nécessaire d'avoir :

- Un parafoudre qui élimine les surtensions d'origine atmosphérique
- Un dispositif de surveillance et d'alerte du premier défaut.

15. Le régime TN

Le neutre est relié à la Terre et les masses métalliques sont reliées au Neutre.



Le principe de la mise au neutre est de transformer tout défaut d'isolement en un court-circuit phase/neutre. La protection peut être assurée soit par un fusible soit par un disjoncteur.

Le défaut provoque un courant beaucoup plus intense que dans le régime TT. Les protections doivent avoir un pouvoir de coupure important.

Deux configurations sont prévues par la norme :

Les conducteurs de neutre et de protection sont séparés **TNS**

Les conducteurs de neutre et de protection sont communs **TNC** cette configuration n'est autorisée que si la section des conducteurs est supérieure à 10 mm².

Questions :

- Le courant de défaut est plus intense² dans le régime TN que dans le régime TT. Pourquoi ?

15.1. Comparaison entre les régimes

Ces deux régimes sont à peu près équivalents. En effet lorsque l'un est conseillé pour une application, l'autre est possible. Le régime TN semble favoriser la protection du matériel sans nuire à la protection des personnes. On conseille, par exemple, le régime TN dans les régions à forte activité orageuse ou pour l'alimentation des dispositifs informatiques ou électroniques.

Le régime IT, lui, est réservé à des applications industrielles ou à des installations de sécurité. Il est également conseillé dans les locaux à risques d'incendie ou d'explosion.

La France a choisi de généraliser le régime TT, d'autres pays ont choisi le régime TN.

² Toutes choses égales par ailleurs.