



Comment marchent les disjoncteurs ?

12 août 2019

Table des matières

1.	Principes de base	1
2.	De la haute tension au 230V	5
3.	Le régime TT	7
4.	Le disjoncteur (ou interrupteur) différentiel	9
5.	Le disjoncteur magnéto-thermique	12
6.	Le fusible, ancêtre du disjoncteur	14
7.	L'électrisation	15
8.	La consignation	16

Vous voulez en apprendre plus sur les disjoncteurs installés chez vous ou à quoi sert exactement la prise de terre ? Vous êtes au bon endroit !

#Prérequis Pour suivre ce tutoriel, il ne vous faudra que les bases en électricité (que vous avez déjà si vous avez suivis le tuto sur Arduino et l'électronique) et un peu de curiosité. Si vous avez en tête vos cours de physique du collège, alors vous pourrez suivre sans problème.

#Licence Le texte de ce tutoriel, son logo ainsi que quelques images sont sous licence Creative Commons By. Les images concernées portent la mention «*Image sous licence CC By rezevika*». Les autres images restent la propriété de leurs créateurs. Vous trouverez les liens vers les pages originales en dessous de chacune d'elles.

#Sommaire

1. Principes de base

Avant de voir comment marchent ces petits appareils qui nous protègent des défauts électriques, nous devons d'abord être bien au clair sur quelques points.

Vous le savez sûrement, le corps humain n'est pas fait pour être en contact avec de fortes tensions, à fortiori du 230V alternatifs. Quand cela arrive, il est d'ailleurs recommandé d'appeler un médecin, car le courant électrique peut perturber le rythme cardiaque. Mais ici, nous allons nous intéresser à ce qui se passe juste avant. Pourquoi l'électricité a-t-elle eu la mauvaise idée de passer à travers notre corps ? A partir de combien de volts et d'ampères est-elle dangereuse ?

Commençons d'abord par bien définir un défaut électrique. Il y a deux possibilités :

- soit le courant va là où il n'est pas censé aller (dans votre corps, par exemple)
- soit il y a trop de courant par rapport à la normale

1. Principes de base

##Défaut de contact Il y a deux grands types de défauts de contact : ils peuvent être directs ou indirects. On parle de contact direct quand une personne se retrouve en contact avec une pièce qui est normalement sous tension (le fil d'une rallonge, les bornes d'un disjoncteur...) après y avoir touché ou en utilisant une pièce conductrice (le fameux cas d'un pêcheur touchant avec sa canne une ligne haute tension).

Le contact indirect, c'est quand une personne prend une décharge en touchant une pièce qui ne devrait pas être sous tension, mais qui l'est à la suite d'un défaut d'isolement. Par exemple, si un problème dans votre four fait que le fil de phase touche sa carcasse, elle sera alors mise à la tension de la phase et vous risquez alors de prendre une décharge en y touchant. Si la carcasse de votre four est reliée à la terre comme elle devrait l'être, les disjoncteurs se déclencheront tout de suite. Sinon, ils ne se déclencheront qu'au moment où vous y toucherez.

##Défaut de surintensité Bien que, techniquement, les deux soient similaires, on distingue deux types de surintensités : les surcharges et les court-circuits. Ce deuxième terme ne doit pas vous être inconnu. C'est ce qui se produit lorsque deux fils présentant une tension entrent en contact franc alors qu'ils ne devraient pas (les bornes d'une batterie, les fils d'une rallonge...). Par exemple si vous coupez à la pince une rallonge branchée à une prise, la lame de la pince fera contact entre les deux fils, et il y aura un court-circuit.

Le premier cas est lui aussi souvent abordé. On y fait référence lorsque l'on dit de ne pas brancher trop de multiprises les unes à la suite des autres, ou de ne pas faire marcher trop d'appareils puissants en même temps. C'est ce qui se produit quand le courant traversant un fil est plus grand qu'il ne le devrait, ce qui le fait chauffer.

##Quelques calculs En cours de physique, on apprend que plus un fil électrique est traversé par un courant fort, plus il chauffe. Cet échauffement peut se calculer assez simplement avec la formule qui suit.

$$P_t = R \times I^2$$

Avec P_t , la puissance thermique produite, en Watts. R , la résistance en Ohms, et I , le courant en Ampères.

Les matheux l'auront vite remarqués : l'échauffement va augmenter bien plus vite si on augmente le courant que si on augmente la résistance.

Pour un fil d'une résistance de 0,3 Ohms, à 1 ampère, l'échauffement est de 0,3 Watts. Il monte à 30 Watts à 10 ampères et à 76,8 Watts à 16 ampères (j'ai choisi 10 et 16 car ce sont des valeurs normalisées de disjoncteurs). Puisque le rendement d'une lampe à incandescence est proche de 2%, on peut dire que si un fil d'une résistance de 0,3 Ohms est traversé par un courant de 16 ampères, alors ce fil dégagera une puissance thermique équivalente à celle d'une ampoule à incandescence de 75 Watts. De quoi chauffer une petite pièce (c'est comme ça que marchent les chauffages électriques), ou de quoi déclencher un incendie.

Voilà pourquoi il est conseillé de limiter le courant dans un fil en ne mettant pas trop de récepteurs les uns à la suite des autres (avec des multiprises), car dans ce cas, le câble de la première multiprise devrait supporter le courant de toutes les multiprises en aval.

1. Principes de base



On pourrait aussi conclure l'inverse en se disant que $P_t = \frac{U^2}{R}$. Cependant, quand on dit « $P_t = R \times I^2$ », il s'agit de la loi de Joule, or, $P = U \times I$, c'est la puissance électrique. Les deux ne sont pas confondables et il faut d'abord connaître le courant avant de pouvoir calculer la puissance thermique dégagée.

Toutefois, la formule $P_t = \frac{U^2}{R}$ est valable pour calculer la puissance thermique au niveau d'un récepteur (mais pas pour un fil, car on ne peut pas parler de tensions à ses bornes, pour rester simple).

Valeurs limites de sécurité Avant d'aborder le fonctionnement des appareils sensés nous protéger, nous devons d'abord avoir des points de références. Les scientifiques ont déterminés des valeurs moyennes de résistance du corps humain en fonction des conditions d'humidité ainsi que les seuils de dangerosité du courant. Je vous propose donc de voir sur le tableau qui suit les valeurs maximales de courants admissibles par le corps humain :

Courant	Effets
0,5mA	Seuil de perception
10mA	Seuil de non-lâcher - Contractions musculaires
30mA	Paralysie respiratoire
50mA	Risque cardiaque
500mA	Fibrillation cardiaque
1A	Arrêt cardiaque instantané

La valeur standard du seuil de protection a été décidée à 30mA, afin de couper le courant avant tout risque cardiaque. Connaissant la résistance du corps humain en une situation donnée et le seuil de courant, on peut déterminer une tension d'exposition maximale sans risque grâce à la loi d'Ohm : $U = R \times I$. Voici donc un tableau avec les résistances moyennes et les courants en fonction du milieu :

Milieu	Résistance moyenne	Calcul $U = R \times I$	Tensions limites de sécurité arrondies (valeurs normalisées)
Mouillé	500Ω	500×0.03	12V~
Humide	850Ω	850×0.03	24V~
Sec	1700Ω	1700×0.03	48V~

1. Principes de base

i

Votre domicile est considéré comme un milieu sec, la tension limite de sécurité, nommée U_L , sera donc de 50V. Dans votre salle de bain, on utilise un système de volumes numérotés de 0 à 3 afin de définir des règles particulières pour les appareils dans chaque zone. Puisqu'il y a une distance minimale réglementaire entre une prise et un bac de douche, on considère que la prise est en milieu sec.

Cela dit, ces deux tableaux à eux seuls ne suffisent pas à déterminer le danger. Nous devons prendre en compte le temps, et donc rajouter une dimension. Voici donc un graphique représentant le danger. Notez la marque à 30mA, le seuil de paralysie respiratoire. On aura l'occasion de la revoir dans la partie sur les disjoncteurs différentiels.



FIGURE 1. – Image de <http://habel.pagesperso-orange.fr/ch1a.htm>

Courant	Effets
AC-1	Aucune réaction
AC-2	Aucun effet physiologique dangereux
AC-3	Seuil de non-lâcher - Tétanisation
AC-3	Dépend du temps, risque d'arrêt cardio-respiratoire, brûlures
AC-4.1	Probabilité de fibrillation : 5%
AC-4.2	Probabilité de fibrillation : 50%
AC-4.3	Probabilité de fibrillation : +50%

##Avertissement sur les formules Ce tutoriel a pour but de rester simple et utilisera les formules de base en électricité. C'est pourquoi les calculs donnés ici ne seront pas forcément utilisables "tel quels" sur le terrain.

Par exemple, au collège, on apprend que la puissance électrique vaut la tension multipliée par le courant ($P = U \times I$). Ceci est vrai en continu, mais plus en alternatif, où il faut alors prendre en compte des choses comme le déphasage ou le nombre de phases. Cela dit, ce sujet mériterait un tuto à lui seul, j'utiliserais donc les formules du continu. Rassurez-vous, à notre niveau, la différence entre les deux est négligeable.

Pour information, la puissance électrique en monophasé se calcule par la formule $P = U \times I \times \cos \varphi$.



Les explications sur ce tuto sont pour la grande majorité valables partout. Cependant, en ce qui concerne les usages des régimes de neutre ou les types de défauts rencontrés, ceux-ci sont susceptibles de varier en fonction des pays et des réglementations sur les installations électriques.

2. De la haute tension au 230V

Afin de bien comprendre sur quels principes se base le fonctionnement des disjoncteur, nous devons d'abord nous pencher sur le voyage de la puissance électrique et, plus particulièrement sur les dernières transformations qu'elle subit avant d'arriver chez vous. On commence donc par une petite intro sur le transport de l'électricité, puis nous parlerons de la création du neutre.

Pour des raisons que je détaillerai juste en dessous, l'énergie électrique n'est pas transportée en 230V sur tout son chemin, de la centrale à chez vous. Elle passe par plusieurs postes de transformation qui vont passer cette tension à de très hautes valeurs, on croise souvent du 90 000 volts, mais ça peut aller jusqu'à 400 000 volts. Ces lignes haute tension appartiennent à RTE.



Nous savons que la puissance thermique vaut la résistance multipliée par le courant au carré ($P_t = R \times I^2$). Nous savons également que la puissance électrique vaut la tension multipliée par le courant ($P = U \times I$). Donc, pour transporter une même puissance électrique, si on augmente la tension, on diminue le courant, et si on diminue le courant, on diminue la puissance thermique dissipée (et donc la puissance perdue).

Voilà pourquoi on augmente la tension pour transporter l'électricité sur de longues distances. Le courant diminuant, on perd moins d'énergie à chauffer les câbles déjà éprouvés en été par la chaleur.

Si vous croisez de plus petits poteaux avec trois gros câbles séparés, la tension est alors, en général, de l'ordre de 20 000 volts. On trouve aussi de petits poteaux avec des gros câbles torsadés en ville, c'est alors une tension de 230 à 400 volts. En général, ces lignes sont relativement courtes et relient les maisons les plus proches au transformateur du quartier. C'est la tension finale, prête à être distribuée. Ces lignes appartiennent à ERDF.



<http://zestedesavoir.com/media/galleries/2844/>

FIGURE 2. – Voici une ligne 20kV, très courante aux abords des villes. Image Wikipédia : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:St-Amant_16_Lignes_MT_20_KV_2013b.jpg

2. De la haute tension au 230V

?

Je croyais qu'on avait du 230V chez nous, et pas du 400 ?!

Pas de panique, en réalité le réseau électrique possède 3 tensions véhiculées sur 3 fils. Ces tensions sont appelées des **phases**. Ce système dit *triphase* possède pas mal d'avantages pour les industriels et le transport de l'électricité. En revanche, pour les particuliers, il a quelques gros défauts, principalement le fait qu'il doit être équilibré. C'est à dire que le courant doit être le même dans chaque phase.

Pour parer à cela, on a donc créé un nouveau système, le *monophasé*. C'est un système à deux fils, un fil de phase et un fil de neutre. On rajoute un fil de terre, mais celui ci n'a rien à voir avec le réseau, il est relié à un piquet profondément enfoncé dans la terre, en général dans votre sous-sol. On en reparlera un peu plus tard. Pour créer le neutre, il suffit de relier trois dipôles ayant une impédance par une extrémité, et de relier chaque autre extrémité à une des phases. Le point central devient alors le point de neutre.



<http://zestedesavoir.com/media/galleries/2844/4be8d>

Schématiquement, ça donne ça :

Techniquement, ces deux schémas sont identiques, mais celui de gauche est représenté comme une étoile à trois branches. On nomme donc cette manière d'organiser les composants en triphasés un couplage étoile. Chaque branche de l'étoile est relié à une phase, et le point central donne le neutre. On croise aussi le couplage triangle, qui ne présente pas de neutre.



<http://zestedesavoir.com/media/galleries/2844/>

FIGURE 2. – Image de <http://www.turbo-kermis.fr/dossiers/index.php?section=triphase>

Et si on parle d'une tension finale de 400 volts, c'est parce que la tension entre deux phases (nommée U) est de 400V, et la tension entre phase et neutre (nommée V) est de 230V.

?

Euh, attends, comment ça se fait qu'on ai 230V entre phase et neutre alors qu'on a 400V entre deux phases? Et comment on peut avoir 3 fils avec une tension de 400V entre chaque?

La réponse complète à cette question mériterait un tuto à elle seule. Retenez surtout que 230 et 400 sont des valeurs dites «efficaces». En effet, ces tensions sont sinusoïdales et varient en permanence. Si on a 230V entre phase et neutre, au lieu de 1200V ($400 + 400 + 400$), c'est parce que les tensions des 3 phases ne sont pas, à un instant T , les mêmes. Pour mieux comprendre, voici un oscillogramme représentant les tensions des 3 phases :

3. Le régime TT



FIGURE 2. – Oscillogramme d'un système triphasé. Image Wikipédia : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3_phase_AC_waveform.svg

Les différences de tensions vont donc se compenser, et on aura une tension de neutre qui vaut la tension entre deux phases divisée par $\sqrt{3}$. Autrement dit : $400V \div \sqrt{3} = 230V$.

i

EDF se charge de la production de l'électricité et gère les centrales électriques de France, RTE se charge du "transport de masse" de l'électricité produite dans toute la France et ERDF gère la distribution à l'échelle départementale et communale.

Les couplages ne servent pas qu'à créer des tensions, ils sont d'abord et avant tout une manière d'organiser les récepteurs afin de les adapter à la tension disponible. En effet, si vous voulez alimenter un moteur triphasé mais dont chaque bobine (plus souvent appelées des enroulements, ce sont nos trois récepteurs) supporte 230V sur le secteur classique, vous devez le coupler en étoile. En effet, en étoile, chaque composant est soumis à une tension de 230V, alors qu'en triangle, ils sont soumis à une tension de 400V.



FIGURE 2. – Représentation des enroulements et des couplages possibles d'un moteur triphasé. Image de Schneider Electric : http://www.schneider-electric.fr/sites/france/fr/support/faq/faq_main.page?page=content&id=FA19820

Bien, nous venons de voir comment la haute tension subissait sa transformation finale pour devenir de la basse tension, et d'où venait ce fil de neutre. J'ai parlé brièvement du fil de terre un peu plus haut, mais nous n'avons pas encore vu son origine, ni à quoi il était relié. C'est le moment de voir ça plus en détail avec les régimes de neutre dans la prochaine partie.

3. Le régime TT

Avant d'en venir à l'essentiel, nous devons aborder une dernière notion : celle des régimes de neutre, aussi appelée Schéma de Liaison à la Terre (SLT). Derrière ce nom barbare se cache en fait un concept assez simple. Il consiste à choisir la manière avec laquelle on va utiliser le fil de neutre du transformateur et le fil de terre.

3. Le régime TT

Chaque SLT est normalisé et est nommé par deux ou trois lettres. La première désigne le sort du neutre du transformateur, la deuxième celui du fil reliant toutes les masses des appareils (le fil de terre), et la troisième n'apparaît que dans un cas que l'on va voir ci-dessous :

Régime de neutre	Caractéristiques
TT	<ul style="list-style-type: none">— Neutre relié à la terre— Masses reliées à la terre
TNS	<ul style="list-style-type: none">— Neutre relié à la terre— Masses reliées au neutre— Fils de neutre et de terre séparés
TNC	<ul style="list-style-type: none">— Neutre relié à la terre— Masses reliées au neutre— Fils de neutre et de terre confondus
IT	<ul style="list-style-type: none">— Neutre isolé de la terre— Masses reliées à la terre



Nous ne parlerons ici que du régime TT car c'est de très loin le plus courant en France. On le trouve dans toutes les installations domestiques et commerciales et dans la majorité des installations industrielles génériques (le secteur tertiaire). Attention, en Amérique du Nord (USA et Canada), le SLT de prédilection est plutôt le TNS / TNC. Cela dit, les explications sur les disjoncteurs restent valables. La différence réside surtout dans les types de défauts rencontrés.

Sans attendre, voici un schéma d'une installation triphasée en régime TT :



<http://zestedesavoir.com/media/galleries/2844/>

FIGURE 3. – Image wikipédia : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Regime_TT.svg

On retrouve le schéma du transformateur où est créé le neutre qui est directement mis à la terre, de même que le fil reliant les masses (et c'est pour ça qu'on l'appelle le fil de terre). On voit que le neutre et le fil de terre sont bien reliés **séparément** à la terre par un piquet qui leur est propre (le piquet du neutre est dans le transformateur **ERDF**, le piquet de terre est dans chaque installation, probablement dans votre vide-sanitaire). Notez bien le «séparément», c'est là qu'est la différence avec les régimes TNS et TNC.

4. Le disjoncteur (ou interrupteur) différentiel

##La boucle de défaut Voyons maintenant comment ça se passe en régime TT si on a un défaut d'isolement. Imaginons que quelqu'un touche un appareil défectueux. Le courant de défaut, nommé I_D va alors passer dans la carcasse de l'appareil, puis passer soit par le corps, soit par la prise de terre. De là, il va chercher à rejoindre le neutre, et il va donc emprunter la prise de terre du neutre et revenir au transformateur. On a alors une sorte de boucle que l'on nomme la boucle de défaut :



FIGURE 3. – Boucle de défaut en régime TT. Image Wikipédia : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dft_Regime_TT.svg

Bien, nous avons donc vu comment se manifestaient les défauts électriques sur scène et dans l'arrière boutique, jusqu'au transformateur. Maintenant qu'on a une idée assez précise de leur nature, on peut enfin passer à la manière de les détecter et de les contrôler. Prochaine partie : le fonctionnement des disjoncteurs différentiels !

4. Le disjoncteur (ou interrupteur) différentiel

Si vous regardez votre tableau électrique chez vous, vous devriez voir un disjoncteur un peu plus gros que les autres, normalement placé en haut à gauche. Il possède un petit levier et un bouton *Test* et il est deux fois plus large que ses camarades (on dit qu'il fait 2 modules de large). Il s'agit du disjoncteur différentiel (ou de l'interrupteur différentiel).



FIGURE 4. – Un interrupteur différentiel. Image Wikipédia : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Interrupteur_différentiel_de_30_mA.JPG

i

Je le nommerai «différentiel» par commodité, je vous expliquerai la différence dans la partie juste après.

Le différentiel donc, est chargé de vous protéger des défauts d'isolements. Si vous prenez une châtaigne et que le courant se coupe, c'est lui qu'il faut remercier. Il se peut aussi que ce soit le disjoncteur de tête de **ERDF**, mais dans ce cas, c'est signe d'un problème dans le calibrage des disjoncteurs.

4. Le disjoncteur (ou interrupteur) différentiel

Comme son nom l'indique, il va réagir en cas de **différence** entre le courant de phase et le courant de neutre (ou le courant entre deux phases dans un système triphasé). Si la différence de courant est supérieure à sa sensibilité, il va ouvrir le circuit afin de stopper le défaut d'isolement.

?

D'accord, mais comment fait-il ?

C'est là que ça se corse un petit peu, car on va devoir faire appel à des notions de physique qui diffèrent un peu de l'électricité : nous parlerons magnétisme.

Vous savez sûrement qu'une bobine traversée par un courant électrique crée un champ magnétique. Or, si deux bobines cotes à cotes sont traversées par des courants opposés (mais de valeur absolue égale, pour les matheux), alors le champ magnétique créé par les deux bobines va s'annuler.

Or, si les deux courants ne sont pas parfaitement égaux (au signe près), il restera alors un champ magnétique résiduel dont l'intensité dépendra de la **différence** entre les deux courants. C'est pour cela qu'on appelle aussi les disjoncteurs / interrupteurs différentiels des DDR : des Dispositifs Différentiels à courants Résiduels.

Vous commencez à comprendre ? Si l'on pouvait utiliser ce champ magnétique résiduel pour ouvrir le circuit, ça permettrait de se passer d'électronique.

Pour cela, on va placer une troisième bobine, nommée K1 dans le schéma qui suit, qui transformera le champ magnétique résiduel en électricité. Avec cette électricité, on peut alors alimenter un petit relais (nommé K2) qui va, lui, pouvoir couper le circuit. Et tout cela sans microcontrôleur !



FIGURE 4. – Image Wikipédia : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Principe_DDR_30_09_09.svg

Résumons : Une différence de courant apparaît entre la phase et le neutre. En passant dans les bobines du différentiel, ces courants créent deux champs magnétiques opposés mais pas tout à fait de même valeur. Le champ magnétique résiduel est absorbé par une troisième bobine qui va le transformer en électricité. Cette électricité va alors alimenter un petit relais qui va ouvrir le contact du différentiel et couper le courant.

?

C'est magique ! Mais le bouton *Test* que tu as évoqué plus haut, il marche comment si il n'y a pas de microcontrôleur ?

Très bonne question ! Eh bien, puisqu'il faut tester la réactivité du disjoncteur en cas de différence de courant, il suffit de créer cette différence. Pour cela, on place en série un bouton poussoir et une résistance entre la phase en amont et le neutre en aval. En actionnant le bouton poussoir, la résistance va créer un courant dans la phase mais qui ne passera pas par le neutre. Le mécanisme devrait alors réagir immédiatement.

4. Le disjoncteur (ou interrupteur) différentiel

i

Prenez garde, certains constructeurs ne garantissent la réactivité de leurs différentiels que si vous avez effectués ce test tous les quelques mois (à voir sur la notice).

?

Tu nous as parlé de sensibilité, mais elle est de combien exactement ? Il faut quelle différence de courant pour que ça disjuncte ?

La valeur standard de la sensibilité du différentiel de tête de **ERDF** est de 500mA. Celle des différentiels qui viennent après (ceux dont on vient de parler) est de 30mA. Oui, c'est la fameuse valeur mise en évidence sur le graphique du début, le seuil de courant provoquant une paralysie respiratoire.

Pourquoi 500mA ? Pour une raison qu'on nomme la sélectivité ampèremétrique. Ce disjoncteur a deux rôles : il doit protéger les personnes des plus gros dangers et protéger les installations **ERDF** juste en amont des éventuels problèmes. Pour se faire, il faut être sûr qu'en cas de défaut impliquant une tension de contact de 50V, le courant sera bien de 500mA. Pour cela, on doit avoir une résistance de terre (celle représentée sur le schéma du régime TT) inférieure à une certaine valeur, pour respecter la loi d'Ohm. Je vous propose donc de calculer ensemble cette valeur.

Regardons cette formule, permettant de calculer la sensibilité à choisir :

$$U_L \geq R_T \times I\Delta n$$

U_L : Tension limite de sécurité
:R_T : Résistance de terre
 $I\Delta n$: Sensibilité du différentiel

Oui, c'est la loi d'Ohm $U = R \times I$, un peu adaptée. Calculons la résistance de terre maximale que l'on peut avoir pour un milieu sec avec un différentiel de tête (celui de **ERDF**) d'une sensibilité de 500mA. Nous avons une tension limite de 50V.

$$R_T = \frac{U_L}{I\Delta n}$$
$$R_T = \frac{50}{0,5}$$
$$R_T = 100\Omega$$

Nous avons donc une résistance de terre maximale de 100 Ohms, c'est la valeur imposée par la norme NF-C 15-100 qui définit les règles en vigueur dans les installations électriques domestiques.

On a donc un différentiel de tête protégeant des plus gros défauts et disjunctant à 500mA et un autre disjunctant à 30mA protégeant concrètement les personnes en aval de toute exposition à un courant dangereux (plus de 30mA).

5. Le disjoncteur magnéto-thermique

Dans certains cas particuliers comme pour les piscines, ou les endroits où la résistance de terre est trop élevée, on pourra avoir des différentiels de tête de valeur plus faible, comme 300mA.

##Types de différentiels Il y a principalement 3 types de différentiels, les A, les AC et les Hi.

Les types A peuvent détecter les composantes de tensions continues dans les sinusoïdes du secteur, alors que les types AC ne détectent que les défauts alternatifs. En France, les types A sont obligatoires pour les machines à laver et les plaques de cuissons électriques. Cependant, en Suisse, ils sont obligatoires sur tous les circuits.

Les types Hi sont moins courants car plus chers mais ils ont l'avantage de ne pas déclencher à la première interférence. Ils sont très utilisés pour les datacenters ou les chambres froides, où le courant doit être coupé en dernier recours.

Maintenant que nous avons vu le fonctionnement du différentiel, nous pouvons passer à celui du disjoncteur magnéto-thermique, parfois nommé disjoncteur divisionnaire, celui présent en plus grand nombre sur votre tableau électrique.

5. Le disjoncteur magnéto-thermique

Passons maintenant au second type de disjoncteur. Il porte le nom barbare de disjoncteur «magnéto-thermique» et protège à la fois des surcharges et des court-circuits.

Comme le suggère son nom, il possède deux parties :

- une partie magnétique, protégeant des court-circuits
- une partie thermique, protégeant des surintensités

##Partie magnétique Par définition, lorsqu'un court-circuit se produit, le courant augmente énormément. Or, si on fait passer un fort courant au travers d'une bobine, il se crée un fort champ magnétique. Dans les disjoncteurs, on place donc une petite bobine en série avec la phase, qui passe elle-même par contact. En cas de court-circuit, le courant augmente, engendrant la formation d'un très fort champ magnétique, ce qui va attirer le contact, le déclencher et ouvrir le disjoncteur.

Cette partie agit donc comme un relais bistable (qui reste à sa position) où la phase serait en série avec un contact normalement fermé et avec la bobine d'alimentation de ce relais.

##Partie thermique Nous avons vus au début de ce tuto qu'un courant électrique provoque un échauffement. Or, quand un métal chauffe, il a tendance à se dilater et à se tordre légèrement. Par ce principe, la Tour Eiffel peut grandir d'une quinzaine de centimètres quand elle est exposée au soleil.

Chaque métal réagit différemment à la chaleur, pour un même échauffement, certains vont se dilater plus que d'autres. Dans les disjoncteurs, on place deux lames de métal ayant des coefficients de dilatation différents côte à côte. Quand le courant passe au travers, ce bilame va avoir tendance à se dilater, mais chaque côté ne se dilatant pas à la même vitesse, le bilame va se tordre. Sa torsion va alors enclencher un mécanisme qui va ouvrir le contact et interrompre le courant. Cet échauffement prenant un certain temps, le temps de réaction de ce mécanisme est assez long, ce qui permet de tolérer une surcharge temporaire sans interrompre le fonctionnement. On peut prévoir ce temps avec une bonne précision avec une technique que l'on va voir juste après.

5. Le disjoncteur magnéto-thermique

<http://zestedesavoir.com/media/galleries/2844/24a59812-f88e-41>

##Organisation On vient bien ici le bilame sur lequel est relié une tresse en cuivre, la chambre de coupure en rouge, la bobine de la partie magnétique juste au dessus, les vis de serrage des bornes sur les côtés et le levier permettant d'ouvrir et de refermer le circuit en haut.

i

Dans la partie précédente, nous parlions des différentiels, qui pouvaient être des disjoncteurs ou des interrupteurs. La différence réside dans leur seconde fonction. Un disjoncteur différentiel possède un mécanisme magnéto-thermique en plus du système alors qu'un interrupteur différentiel se contente de se déclencher en cas de différence de courant.

##Pouvoir de coupure Ce paragraphe sera court, je voudrais juste introduire la notion de pouvoir de coupure. Tous les disjoncteurs, et plus généralement tout appareil qui possède dans son nom le mot «interrupteur» a un pouvoir de coupure, qui s'exprime généralement en kiloAmpères (kA). Pour un disjoncteur magnéto-thermique classique, il est de l'ordre de 5kA. Pour un interrupteur de luminaire, il est d'une dizaine d'ampères. Le pouvoir de coupure est donc la quantité de courant que l'appareil peut interrompre sans risque.

##Les courbes de déclenchement Il existe différentes sortes de disjoncteurs, chacun adaptés à des usages particuliers. Le plus polyvalent est le type C, c'est celui que vous avez chez vous. Voici les principaux types de disjoncteurs :

Courbe	Indication
C	Usage général
D	Moteurs et appareils à forts courants d'appel
Z	Circuits électroniques sensibles

La courbe d'un disjoncteur est indiquée juste avant son calibre. Par exemple, un disjoncteur C2 a un calibre de 2 Ampères (son bilame se déclenche donc vers 2A) et une courbe C. En connaissant la courbe, le calibre et le courant traversant un disjoncteur, on peut savoir au bout de combien de temps ce dernier va se déclencher. Sur les courbes, on utilise le terme I_n pour désigner le multiple du calibre du disjoncteur. Ainsi, $3I_n$ pour un disjoncteur de 2 Ampères vaut 6 Ampères. Voici la représentation de la courbe C :

<http://zestedesavoir.com/media/galleries/2844/>

FIGURE 5. – Image de <http://www.lyc-couffignal-strasbourg.ac-strasbourg.fr/electro/docdecl-disj.htm>

6. Le fusible, ancêtre du disjoncteur

Vous remarquerez que l'échelle du graphique est logarithmique (elle grandit dans les grandes valeurs). Les deux courbes bleues sont la moyenne basse et la moyenne haute du temps de déclenchement.

On constate qu'il y a une rupture nette vers 10 fois le calibre. Il s'agit du seuil entre le domaine du thermique et celui du magnétique. En effet, le magnétique ne se déclenche qu'en cas de court-circuit.



FIGURE 5. – Image de http://jacob.patrick.free.fr/rss/co/disjoncteurs_web/co/courbes.html

##Le choix du calibre La norme NF-C 15-100, qui définit la majeure partie des règles à suivre pour les installations électriques domestique, a fixé des calibres imposés en fonction des circuits et de la section des fils qui les alimentent.

Voici par exemple, quelques valeurs standards de calibres en fonction de circuits :

- Circuit lumières jusqu'à 8 lampes en $1,5\text{mm}^2$: 16 Ampères
- Circuit prises jusqu'à 5 prises en $1,5\text{mm}^2$: 16 Ampères
- Circuit prises jusqu'à 8 prises en $2,5\text{mm}^2$: 20 Ampères
- Circuit prise spécialisée pour un lave-linge, un lave-vaisselle ou un four en $2,5\text{mm}^2$: 20 Ampères
- Circuit spécialisé pour une plaque de cuisson en 6mm^2 : 32 Ampères

Voici côtes à côtes, un disjoncteur magnéto-thermique 3 pôles + neutre (abrégé en 3P+N), un interrupteur différentiel 30mA et un disjoncteur différentiel de sensibilité 30mA, de courbe C et de calibre 16 Ampères ($C16 I\Delta n 0,03A$).



FIGURE 5. – 3 disjoncteurs (3P+N magnéto-thermiques / différentiels). Image sous licence CC By rezemika.

6. Le fusible, ancêtre du disjoncteur

Maintenant que nous venons de voir comment marchaient les disjoncteurs, je vous propose de voir rapidement le fonctionnement des fusibles.

7. L'électrification

Avant que ne soient mises au point ces technologies, il a bien fallu trouver des moyens de se protéger des plus gros défauts électriques, dont le plus dangereux d'entre eux : le court-circuit.

Pour cela, les fusibles ont été inventés. Ils se basent sur le principe que l'on a vu au début du tuto : un courant traversant un fil fait chauffer ce fil proportionnellement au courant et à la résistance de ce fil. On a donc enfermé de tout petits fils avec une résistance bien précise dans des cartouches. S'ils sont traversés par un courant suffisamment fort, ces fils vont chauffer jusqu'à leur point de fusion (car ils sont très fins) et se rompre, ce qui entraînera fatalement l'ouverture du circuit et donc la coupure du courant.

Ils coûtent très peu d'argent à produire mais ont les inconvénients de ne pas être d'une grande précision dans leur calibre et d'être à usage unique. Ils sont encore utilisés dans l'industriel pour certains usages mais ils sont de plus en plus remplacés par les disjoncteurs, plus fiables et réarmables (et donc réutilisables).

On trouve des fusibles opaques, utilisés principalement en industriel et en domestique, et des fusibles de verre qui, eux, se trouvent surtout en électronique. Ils ont l'avantage de permettre un contrôle visuel de l'état du fusible. Certains possèdent également un percuteur qui fait apparaître un point rouge sur le dessus une fois qu'ils se sont déclenchés.

Il existe deux types de fusibles :

- Les gG : pour les usages généraux.
- Les aM (Accompagnement Moteur) : pour les moteurs, les transformateurs et les appareils à fort courants d'appels. Ils ne fondent qu'en cas de court-circuit et pas en cas de surcharge.



FIGURE 6. – Un fusible de verre. Image Wikipédia : <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Glassikring.jpg>



FIGURE 6. – Un porte-fusible domestique. Image Legrand : http://www.legrand.fr/professionnels/les-coupe-circuit_384.html

7. L'électrification

Avant de passer à la consignation, qui marquera la fin de ce tuto, je voudrais aborder rapidement les conséquences d'une électrification, c'est à dire d'une exposition à un courant électrique.

8. La consignation



Le terme «électrocution» désigne en fait une mort à la suite d'une électrisation.

Comme nous l'avons vu au début de ce tuto, le courant électrique provoque des échauffements. Une électrisation peut causer plusieurs symptômes relativement graves, dont :

- des brûlures aux points d'entrée et de sortie du courant, ainsi que des brûlures sous-cutanées sur le trajet du courant
- une tétanie musculaire
- des problèmes cardiaques allant de l'arythmie à la fibrillation
- une respiration difficile
- des picotements ou des engourdissements
- une perte de connaissance

Chaque année, environ 200 personnes meurent par électrocution, 4000 subissent une électrisation grave entraînant des séquelles et environ 1 enfant meurt par mois à cause du risque électrique. Les disjoncteurs sont de bonnes protections, mais ils ne sont pas infaillibles.

Ce n'est pas parce que vous travaillez derrière un disjoncteur 30mA haut de gamme que vous ne risquez rien. Et ce n'est pas parce qu'une décharge ne cause pas de problème cardiaque immédiatement qu'elle n'est pas grave. Un courant peut traverser la main sans passer par le cœur et gravement endommager les nerfs en entraînant des brûlures sous-cutanées.

En cas d'électrisation, appelez un médecin afin d'avoir un avis médical le plus rapidement possible, au cas où. En France, vous pouvez appeler le SAMU (15), ou le 112, qui lui, est valable dans toute l'Europe.

8. La consignation

Maintenant que nous avons vu comment marchent la plupart des disjoncteurs (il existe d'autres types de protections dans les domaines industriels), je vous propose de voir pourquoi et comment se fait la consignation.

Imaginez que vous êtes électricien et que vous travaillez au raccordement d'un moteur dans une usine. Vous ouvrez le disjoncteur en amont pour pouvoir toucher aux fils sans vous exposer à la tension secteur et vous commencez à travailler. Seulement, un autre électricien ignorant votre présence sur le site referme le disjoncteur afin d'aller faire des tests. Les fils sont donc à nouveau sous tension, vous ne le verrez pas et vous risquerez une électrisation.

Pour éviter ce genre de problèmes, les électriciens disposent de cadenas de consignation qui permettent d'empêcher toute manœuvre d'un disjoncteur en bloquant physiquement le levier. Voilà à quoi ressemble un disjoncteur triphasé + neutre consigné (cliquez sur l'image pour l'agrandir).

8. La consignation

<http://zestedesavoir.com/media/galleries/2844/>



i

Ces dispositifs sont assez difficiles d'accès aux particuliers. Aussi, si vous bricolez et que vous voulez améliorer votre installation électrique, je vous conseille fortement d'ouvrir les disjoncteurs des circuits sur lesquels vous comptez travailler, de fixer un morceau de ruban adhésif sur leur levier et de vérifier avant de commencer à travailler qu'il n'y a pas de tension.

C'en est fini pour ce tuto !

Je remercie tous les membres qui m'ont aidés pour la bêta de ce tutoriel. S'il vous a plu (ou pas), ou si vous avez des questions ou des remarques, n'hésitez pas à poster un commentaire ou à aller sur le forum !

Liste des abréviations

ERDF Electricité Réseau Distribution de France. 5, 7–9, 11

RTE Réseau de Transport d'Electricité. 5, 7