



L'énergie d'apprendre

Station solaire isolée

B+1

Les Risques Électriques

1. Risques électriques

1.1. Rappel

L'énergie électrique est largement utilisée, en particulier pour les appareils domestiques et se trouve par conséquent à la portée de tout un chacun. Cependant, elle peut s'avérer dangereuse. En effet, outre les risques de dégradation des installations suite à un défaut électrique, il y a des risques de lésions, et même danger de mort, si un courant traverse le corps humain. Il est par conséquent indispensable de protéger non seulement les installations mais aussi les personnes contre les dangers électriques.

L'électricité d'origine photovoltaïque est tout aussi dangereuse que celle qui provient d'un réseau. Un courant continu peut être aussi dangereux qu'un courant alternatif.

Rappel : l'électricité est invisible, incolore, inodore. Les dangers qu'elle représente, sont mal perçus, voire inconnus pour les personnes non informées ou pour les enfants.

1.2. Les dangers

Ces dangers sont de 3 types :

- Le choc électrique pouvant déclencher des brûlures, une électrisation (courant traversant le corps), voire une électrocution (électrisation mortelle),
- Les projections de matières en fusion, lors d'un arc électrique ou d'une explosion,
- Le dégagement de gaz toxiques,
- L'incendie,
- Les chutes, conséquence fréquente des électrisations.



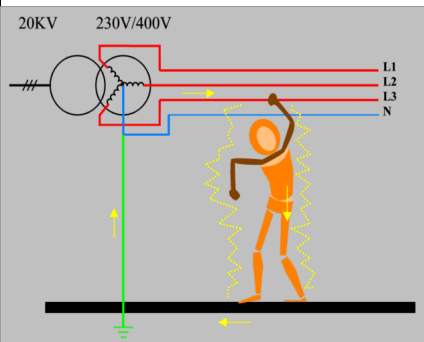
L'installation, si elle a été bien faite par un professionnel, permet d'éviter une grande partie de ces risques, grâce aux câbles isolés, aux coffrages isolants, aux fusibles et disjoncteurs etc. Mais elle n'évite pas les comportements inadaptés qui sont malheureusement la cause de nombreux accidents. Sur 100 accidents :

- 95 % sont dus à un contact direct avec une pièce conductrice sous tension,
- 4 % sont dus à un contact indirect avec une pièce mise accidentellement sous tension,
- 1 % sont d'origine inconnue.

Environ 1/3 des accidents ont lieu en basse tension (BT) et 2/3 des accidents ont lieu en haute tension (HT). L'origine de ces accidents dépend des types de contact entre la personne et l'élément sous tension.

L'eau, les métaux, sont des conducteurs. Les gants en caoutchouc, en cuir, sont des isolants.

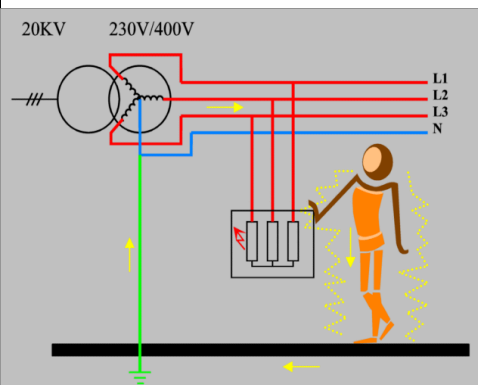
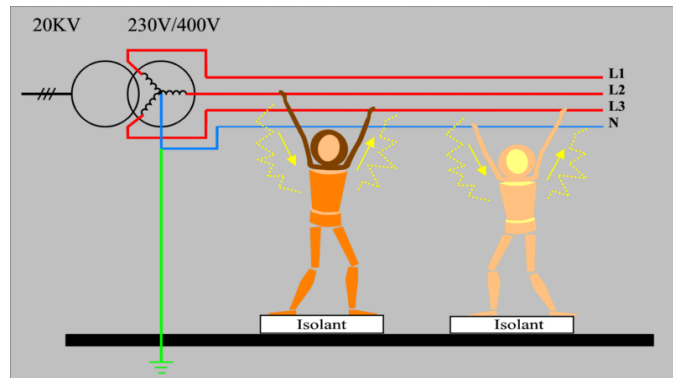
1.3. Les contacts



Le contact direct est très dangereux dès 60V, tension fréquemment utilisée dans les stations isolées.
Exemple de cas aussi très fréquent : contact avec une phase d'un réseau triphasé et la terre.

1.3.1. Contacts directs

Contacts des personnes avec les parties actives des matériels électriques. On appelle partie active tout conducteur et pièces conductrices affectés à la transmission de l'énergie électrique, y compris le conducteur neutre et les parties qui y sont reliés. Ils causent 45% des accidents.

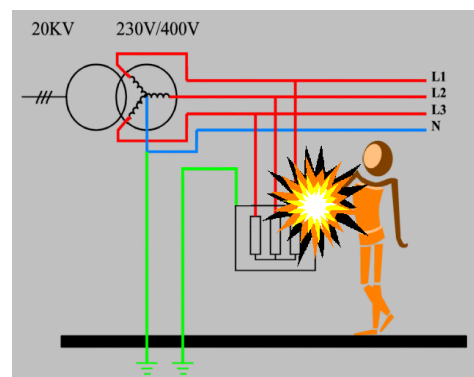


1.4.2 Le Contact Indirect

Contact d'une personne avec une masse mise accidentellement sous tension et un élément conducteur relié à la terre. La masse est une partie conductrice susceptible d'être touchée et normalement isolée des parties actives.
Le contact indirect est très dangereux dès 120V.
Les contacts indirects causent 20% des accidents.

1.4.3 Le court -circuit

Contact réalisé par un objet métallique entre une masse et une partie active sous tension ou entre deux parties actives sous tension.
Les court-circuits représentent 30% des accidents.



2. Effets sur le corps humain

La résistance électrique du corps humain n'est pas infinie : soumis à une tension, le corps va laisser passer un courant électrique, pouvant s'avérer dangereux pour lui.

Cette résistance varie et dépend de plusieurs paramètres : la présence d'humidité, la transpiration, la tenue vestimentaire, la durée de contact, le courant traversant, etc. ; en moyenne, on peut

considérer que la résistance du corps humain est de l'ordre de $2\text{ k}\Omega$. Un simple calcul à partir de la loi d'Ohm permet alors d'évaluer le courant traversant une personne mise en contact avec une différence de potentiel de 230 V à un peu plus de 100 mA . Or, l'intensité d'un courant électrique alternatif est dangereuse à partir de 20 mA . Le contact direct entre les deux bornes d'une prise ordinaire peut donc être mortel.



2.1 Risques pour la personne

Ils sont variables en fonction des données suivantes :

- Les caractéristiques du courant
- Les conditions d'humidité
- La durée de passage
- Le trajet dans le corps
- L'état de la personne

2.2 Rôle de la tension

Le début du processus d'électrisation n'est perceptible qu'à partir d'une certaine valeur de tension. Un contact entre deux bornes d'une batterie de voiture (12 ou 24 V continu) n'occasionne aucune sensation au niveau du corps humain. Par contre, un même contact aux bornes d'une prise de courant (230 V) se traduira par une sensation douloureuse, des brûlures, voire un coma.

En fait, notre corps est protégé par la peau, qui représente une barrière physiologique s'opposant au passage de l'électricité. Mais au-delà d'une certaine tension, la peau est perforée par le courant et n'est plus isolante.

Les tissus du corps humain peuvent être représentés par une succession de résistances et de réactances constituant une impédance, qui sera appelée impédance interne. L'impédance Z du corps humain, est le résultat de la somme des impédances de la peau aux points de contact et de l'impédance interne des tissus. C'est ce qui explique que la résistance apparente du corps dépend de la tension et de l'humidité.

TENSION DE CONTACT (V)	RESISTANCE EN OHMS	
	Mains sèches	Mains mouillées
25	1725	925
50	1625	825
100	1535	730
220	1375	660
350	1365	565
500	1360	560

Il ne faut jamais toucher un appareil électrique, et encore moins travailler sur une installation, avec des mains mouillées !

2.3 Rôle de l'intensité

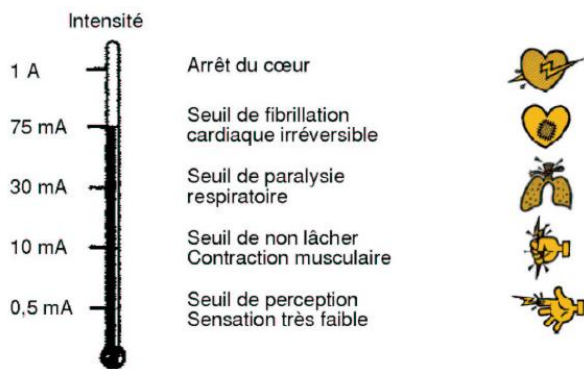
Le courant traversant un corps, en fonction de son intensité, entraîne des :

- Effets physiques (brûlures),

- Effets sur les muscles et le système nerveux: la contraction des muscles lors d'une électrisation peut mener à une tétanisation (impossibilité de lâcher prise).
- Effets sur le cœur : le premier stade est la fibrillation (fonctionnement désordonné du cœur), le second stade est la tétanisation souvent mortelle.
- Effets sur le système nerveux.

Les effets sont différents en courant alternatif et en courant continu.

EFFETS DU COURANT ALTERNATIF*



2.3.1 En courant alternatif 50 Hz

Le seuil de perception, suivant l'état de la peau, apparaît entre 0,5 et 1 mA. Vers 10mA, les contractions musculaires apparaissent. Vers 30 mA, paralysie ventilatoire. La fibrillation apparaît vers 50 mA. L'arrêt cardiaque vers 1A. Les centres nerveux sont atteints à 2A.

Ces seuils sont plus élevés lorsque la fréquence est plus élevée.

EFFETS DU COURANT CONTINU*



2.3.2 En courant continu

Avec des courants inférieurs à 300 mA environ, sensation de chaleur dans les extrémités. Les courants d'intensité au plus égale à 300 mA pendant plusieurs minutes peuvent provoquer des arythmies cardiaques réversibles, des marques de courant, des brûlures, des vertiges et parfois l'inconscience.

Au-dessus de 300 mA, l'inconscience se produit fréquemment.

Source : INRS

Le courant continu entraîne les mêmes conséquences que le courant alternatif de 50 Hz avec un facteur d'équivalence en ce qui concerne les seuils, de 4.

2.3.3 Particularité des stations photovoltaïques isolées

Les installations isolées distribuent le courant continu en 12V, 24V, ou 48V. À ces tensions, classées en TBT, le courant continu ne présente pas de danger mortel. La partie la plus dangereuse est entre les panneaux et les batteries, où la tension peut être nettement plus élevée, et la partie en alternatif, en aval de l'onduleur.

En journée, la tension issue des panneaux ne peut être interrompue : interrompre le courant en aval n'empêche pas les champs de rester sous tension. En cas de défaut en aval, le courant de court-circuit est supérieur au courant de fonctionnement normal de l'ordre de 10%, et ne permet pas de faire fonctionner une protection contre les surintensités. Il y a donc un fort risque d'arc électrique. Il faut pour l'éviter positionner un interrupteur-sectionneur spécifique.

La plupart des installations ne nécessitent pas de mise à la terre d'une des polarités. Mais pour certaines applications, notamment dans le domaine des télécommunications, il est indispensable de relier une polarité (usuellement le + en 48V) à la terre.

3 Prévention et protection contre des risques

Les moyens à mettre en œuvre pour limiter le risque électrique se répartissent entre :

Ceux à la charge du constructeur

- Normes et réglementation,
- Protection intégrée,
- Protection intrinsèque
- Source de tension inoffensive (Très Basse Tension),
- Classe d'isolation de l'appareil,
- Classe de surtension.

La norme UGTE C15-712 prévoit les niveaux de dispositifs de protection en fonction de la tension de sortie des panneaux, avec un seuil important à 120V (maximum de la Très Basse Tension). En dessous de 60V, il n'est pas requis de protection contre les contacts indirects, ni d'isolation galvanique pour le régulateur, seul le chargeur DC/AC nécessite une telle isolation.

Ceux à la charge de l'utilisateur

- Protection collective,
- Protection individuelle,
- Protection par instructions,
- Protection par formation.

3.1 Protection contre les contacts directs



Il s'agit d'assurer la mise hors de portée de pièces métalliques nues sous tension accessibles à l'utilisateur. La protection peut être obtenue par le constructeur et/ou l'installateur avec l'un des trois moyens suivants :

- Éloignement
- Obstacle
- Isolation

Normalement, les câbles sont isolés par leur gaine, et les parties actives, ainsi que les jonctions, sont dans un coffret ou un boîtier.

Pour l'utilisateur, il faut éviter de se rapprocher des contacts non isolés : bornes, jonctions, non protégés. Les locaux et zones de danger électriques sont normalement signalés par le pictogramme ci-contre.

3.2 Protection contre les contacts indirects

Dans les installations alimentées par ou délivrant du courant alternatif, quel que soit le régime du neutre, la protection peut être réalisée

- en associant la mise à la terre des masses à des dispositifs de coupure automatique de l'alimentation,
- par une double isolation, ou par isolation renforcée,
- par la séparation des circuits,
- par l'utilisation de la très basse tension de sécurité (TBTS).

3.3 Les dispositifs de protection

Les dispositifs de protection visent à éviter ou minimiser tous les défauts ou incidents pouvant causer des dommages aux installations ou aux personnes : surtensions susceptibles de faire

chauffer voire fondre les câbles de jonction ou détériorer les appareils, courant de fuite, courts-circuits, arcs électriques etc.. Le choix et le dimensionnement des protections relèvent de règles complexes bien normalisées, qui sont à la portée des seuls techniciens professionnels bien formés. Nous ne donnons ici que la description fonctionnelle des principaux dispositifs usuels.

3.3.1 La mise à la terre

Les « masses » sont les parties conductrices d'un appareillage électrique susceptibles d'être touchées par l'installateur ou l'utilisateur (les coffrets, capots, boîtes) et qui ne sont normalement pas sous tension mais qui risquent de le devenir en cas d'incident. La mise à la terre permet, d'une manière générale de renvoyer dans le sol les courants de fuite (ou la foudre) indésirables. Plus l'installation est complexe et puissante, plus la mise à la terre devient incontournable, soit pour chacun des appareils sensibles, soit par l'intermédiaire d'une liaison équipotentielle reliant toutes les masses entre elles. Elle nécessite d'enfoncer dans le sol des piquets métalliques ou d'enfouir un conducteur (câble métallique tressé) assurant une bonne diffusion du courant, et reliant toutes les masses.

3.3.2 Le fusible



Le fusible est un dispositif qui a pour rôle d'assurer la sécurité d'une installation en interrompant la circulation du courant électrique en cas de surintensité. **Il ne protège pas les personnes.**

Lorsque l'intensité qui traverse cet élément est supérieure à une valeur donnée, il ouvre le circuit en se détruisant par une fusion du filament conducteur qui le compose (d'où son nom de fusible). La section du filament est calculée en fonction de l'intensité maximale du courant à laisser passer. En effet, la section des câbles dépend de l'intensité du courant à transporter : plus un courant est important, plus le fil conducteur doit avoir une section élevée si l'on ne veut pas qu'il fonde. La norme NF C 15-100 donne les

sections que doivent avoir les conducteurs en fonction du courant assigné.

L'intensité de rupture est clairement indiquée en Ampères, sur le corps ou l'étiquette du fusible. Lorsqu'ils se déclenchent, les fusibles peuvent être aisément remplaçables par un utilisateur non professionnel, en ouvrant le porte-fusible. Il est même conseillé d'avoir d'avance des fusibles du type de ceux installés, pour pouvoir rapidement remettre en service une portion de circuit protégée par un tel dispositif.

Il existe essentiellement trois types de fusibles :

- Les fusibles à usage général (gG) qui offrent une protection contre les surcharges et les courts-circuits et qui sont couramment utilisés dans les appareils domestiques ;
- Les fusibles d'accompagnement moteur (aM) utilisés pour la protection contre les courts-circuits en cas de forts courants de pointe (en présence de moteurs par exemple ou de primaires de transformateur); ils sont utilisés pour protéger les climatiseurs.
- Les fusibles à fusion ultra rapide qui permettent la protection des semi-conducteurs.

Remarquons que les fusibles protègent les appareils mais ne sont pas adaptés pour la protection des personnes, que par ailleurs seul un dispositif différentiel adapté permet d'assurer.

Attention : les fusibles pour le courant continu ne sont pas calibrés de la même manière que ceux pour l'alternatif.

3.3.3 Le disjoncteur



Le disjoncteur a pour vocation la protection des conducteurs et des équipements **contre les surcharges**. C'est un dispositif capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans des conditions normales, mais aussi dans des conditions de surcharge et/ou de court-circuit. Sa différence avec un interrupteur est qu'il peut ouvrir un circuit traversé par un courant très grand (jusqu'à par exemple 1000 A), ce qu'un interrupteur ne peut pas faire : il a un fort pouvoir de coupure. Il remplace de plus en plus le fusible, en particulier parce qu'il ne se détruit pas lors de l'ouverture du circuit : c'est un dispositif ré-armable.

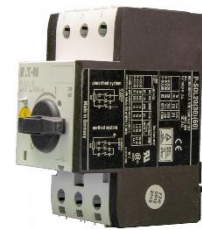
L'alimentation générale est en générale séparée des différents circuits par un disjoncteur.

Il existe plusieurs types de disjoncteurs :

- le disjoncteur magnétique, qui assure la protection contre les court-circuits ;
- le disjoncteur thermique, qui assure la protection contre les surcharges ;
- le disjoncteur magnéto-thermique, qui cumule les deux fonctions et assure la protection contre les court-circuits et contre les surcharges. C'est ce type de disjoncteurs qui équipe nos tableaux électriques domestiques, et qui doit équiper les stations solaires isolées.

3.3.4 L'interrupteur-sectionneur

Il permet d'assurer en une seule manœuvre la coupure et le sectionnement du circuit **sans risque d'arc électrique**. Il permet la séparation d'un circuit en charge. Il est positionné entre les panneaux et la batterie. L'étiquette porte normalement la mention « coupure générateur PV » ou « coupure batterie ».



3.3.5 Le disjoncteur différentiel (DDR)



En courant alternatif, le rôle d'un disjoncteur différentiel (DDR) résiduel est d'ouvrir le circuit électrique en cas de fuite supérieure à sa valeur de consigne nominale I_d , que l'on règle. Le temps de déclenchement peut varier de 200ms à 1 seconde ; plus le courant de fuite est important, plus le déclenchement est rapide. On distingue les DDR de type AC (uniquement pour les appareils simples), de type A (pour plaques de cuisson, machines à laver), et de type F (pour informatique et autres appareils sensibles).

Le disjoncteur différentiel est une véritable protection des personnes. Il n'y en a usuellement pas dans les petites stations photovoltaïques isolées.

3.3.6 Le parafoudre



Le rôle du parafoudre est de protéger l'installation électrique contre les surtensions d'origine atmosphérique. Il est obligatoire dans les zones à forte fréquence d'orages. Il écoule vers la terre le surplus au-delà des surtensions maximales admissibles. Il est indispensable pour chaque équipement de télécommunications. Il est placé entre chaque conducteur actif et la masse de l'équipement à protéger, elle-même reliée à la terre.



3.4 Protection individuelle

3.4.1 L'équipement

Les principaux équipements de protection individuelle pour l'installateur ou le technicien chargé de l'entretien, contre les risques électriques peuvent être le port de:

- casque isolant,
- casque de protection contre les projections de particules en fusion,
- protection oculaire et faciale,
- gants et matériaux isolants,
- chaussures isolantes,
- vêtements de protection isolants



3.4.2 Le comportement approprié du non professionnel

- Ne jamais toucher une prise de courant sans avoir au préalable coupé le courant en amont (interrupteur, fusible...).
- Lorsque l'on suspecte qu'un appareil électrique est défectueux, le débrancher avant de le démonter.
- Ne jamais utiliser un appareil électrique en présence d'eau, ou avec des mains mouillées.
- Ne jamais pénétrer, si l'on n'a pas été formé pour, dans un local où est affiché le sigle du risque électrique.
- Porter au minimum des chaussures isolantes (semelle en caoutchouc) et des gants isolants.

