

 <p>STI Génie Énergétique</p>	<p align="center">ÉTUDE DES SYSTÈMES TECHNIQUES INDUSTRIELS</p> <p align="center">AUTOMATIQUE & INFORMATIQUE APPLIQUÉE</p> <p align="center">LA PROTECTION ÉLECTRIQUE DES PERSONNES</p>	<p align="center">Cours</p>
---	--	-----------------------------

LA PROTECTION DIFFÉRENTIELLE

SÉCURITÉ DES PERSONNES

Chaque année près de 2000 accidents.
 Chaque année des dizaines de personnes qui resteront invalides.
 Chaque année des dizaines de personnes qui ne pourront plus exercer une activité professionnelle normale.
 Chaque année près de 200 MORTS...
 Voici le lourd tribut que les Français payent à l'électricité.

1. COMMENT AGIT L'ELECTRICITE SUR LE CORPS HUMAIN ?

Au même titre qu'un récepteur classique, le corps humain, lorsqu'il est soumis à une tension, est parcouru par un courant électrique. Le courant agira sur le corps de deux façons :

- Par "blocage" des muscles (tétanisation)
 En 1786, Galvani (physicien italien) découvrit que les muscles d'une grenouille écorchée se contractaient au passage d'un courant électrique.
 Le courant qui circulera dans le corps humain contractera donc les muscles, que ce soit ceux des membres ou de la cage thoracique.

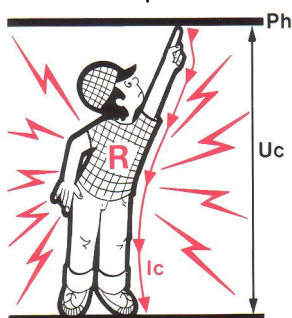
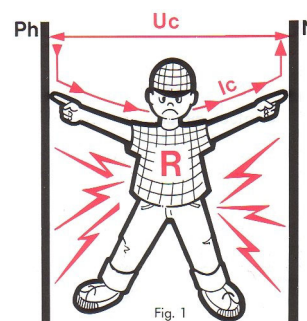


Fig. 2

- Par brûlures
 L'électricité provoquera par ses effets thermiques des lésions tissulaires plus ou moins graves selon la valeur du courant.
- Par action sur le cœur
 Elle provoque une désorganisation complète, une fibrillation ventriculaire.

2. QUELS SONT LES PARAMETRES DONT IL FAUT TENIR COMPTE DANS L'EVALUATION DES RISQUES ?

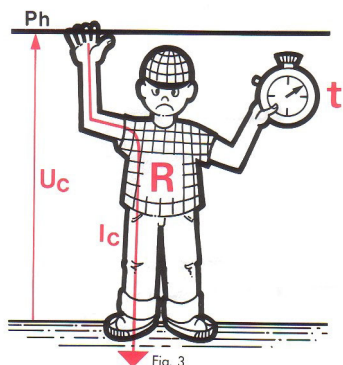
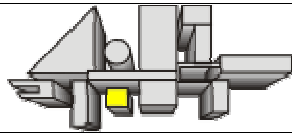


Fig. 3

- I_c : courant qui circule dans le corps.
- U_c : tension appliquée au corps.
- R : résistance du corps.
- t : temps de passage du courant dans le corps.

Les courbes ci-dessous, issues de la CEI, permettent de voir comment ces quatre paramètres sont interdépendants.



a) Le temps en fonction de l'intensité

$t=f(I_c)$

Cette courbe donne 5 zones de risques

Zone 1: Courant inférieur au seuil de perception (0,5 mA).

Zone 2: Contractures musculaires (tétanisation). Bien que semblant sans

risques, ces effets du courant peuvent provoquer une chute de la personne avec toutes les conséquences que cette chute peut avoir.

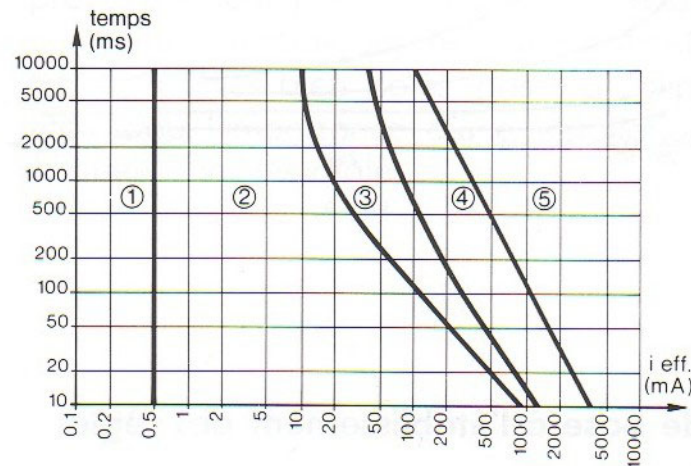


Fig. 4

Zone 3: Paralysie respiratoire. Sans secours rapides (respiration artificielle) l'accidenté risque de mourir par asphyxie.

Zone 4: Possibilité de fibrillation ventriculaire inférieure à 50 %.

Zone 5: Possibilité de fibrillation ventriculaire supérieure à 50 %. La fibrillation ventriculaire, c'est la mort certaine en l'absence de secours adaptés et immédiats.

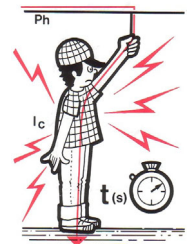


Fig. 5

b) Le temps en fonction de la tension

$t=f(U_c)$

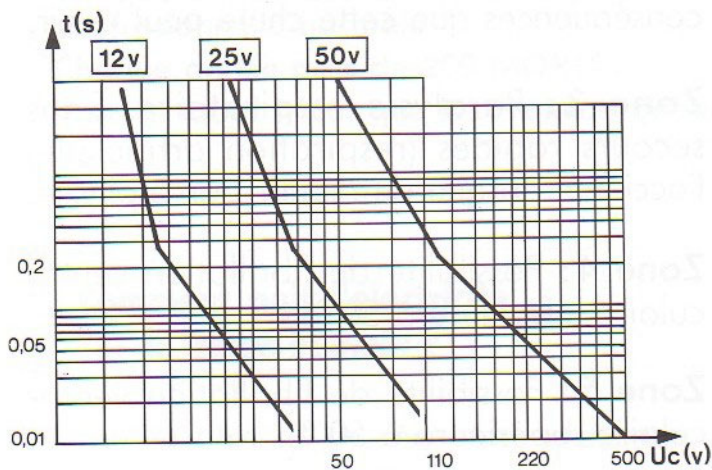


Fig. 6

Selon le type de local la norme NFC 15.100 prend en compte 3 tensions de sécurité, 12, 25 ou 50 volts (respectivement local immergé, local mouillé, local non mouillé). Ces tensions non dangereuses définissent 3 courbes où les risques sont contrôlés en fonction du temps de passage du courant dans le corps.

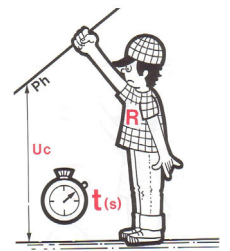
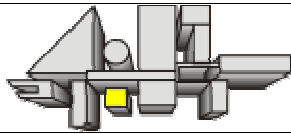


Fig. 7



c) Le résistance en fonction de la tension $R=f(U_c)$

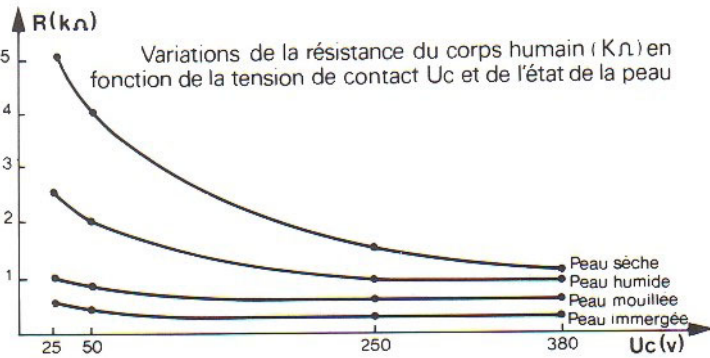


Fig. 9

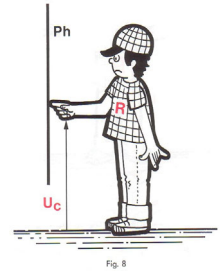


Fig. 8

Cette courbe donne les variations de la résistance du corps humain en fonction de la tension de contact et de l'état de la peau.

Conclusion: Ces trois courbes ont servi de base à l'établissement des règles de sécurité imposées par la NFC 15.100.

3. QU'APPELLE-T-ON CONTACT DIRECT ?

C'est le contact d'une personne avec une partie d'un équipement ou d'une installation normalement sous tension. Il existe deux cas de figure.

1er CAS

Ce cas, bien qu'étant peu fréquent, est le plus défavorable. La personne étant supposée isolée du sol (chaussures ou sol isolants) le courant va circuler directement par la cage thoracique via le système respiratoire et cardiaque. En prenant les paramètres fixés par la figure 10, le courant qui va circuler dans

le corps de la personne sera de $I_c = \frac{U_c}{R_c} = \frac{230}{1000} = 230\text{mA} !!$

Au regard de la courbe $t = f(I_c)$, nous pouvons voir quels sont les risques encourus par la personne si cette situation persiste plus de 50 ms.

PROTECTIONS CONTRE CE TYPE DE RISQUE

La protection ne peut s'effectuer que préventivement par la mise en place de dispositifs mécaniques tels que coffrets fermés, câbles bien isolés, prises à éclips etc., d'où l'importance d'une installation réalisée dans les règles.

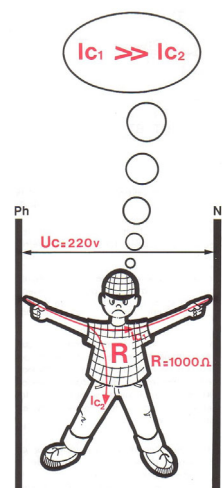


Fig. 10

 STI Génie Énergétique	ÉTUDE DES SYSTÈMES TECHNIQUES INDUSTRIELS AUTOMATIQUE & INFORMATIQUE APPLIQUÉE LA PROTECTION ÉLECTRIQUE DES PERSONNES	Cours
---	--	-------

2e CAS

Les réseaux de distribution publics ont le neutre raccordé à la terre (art. 45 de l'arrêté technique du 26 février 1978, J.O. no 1112). Cette mise à la terre du neutre est réalisée tous les 200 mètres environ.

De ce fait, une personne qui rentrera en contact direct avec une phase du réseau se verra soumise à la tension de celui-ci (voir fig. 11).

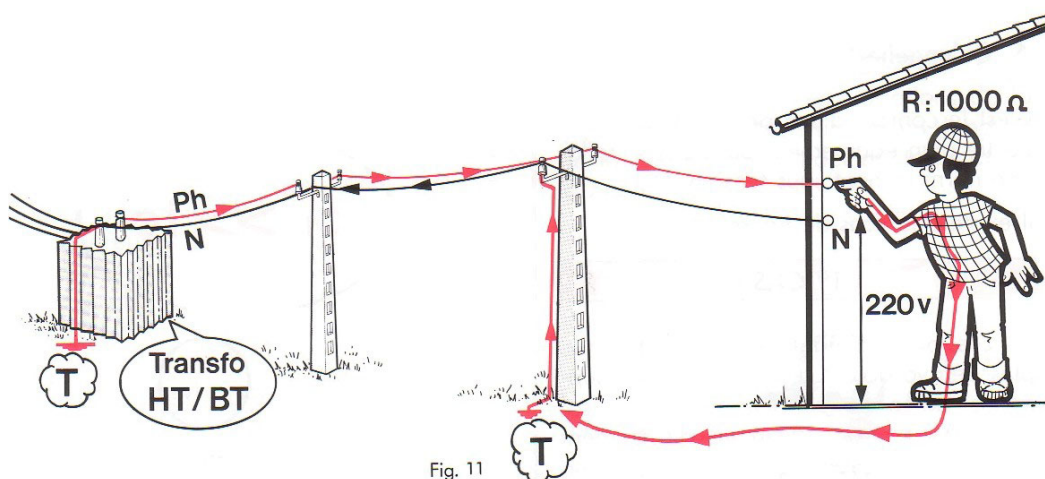


Fig. 11

En prenant les mêmes paramètres que précédemment et en supposant le contact pieds/sol de résistance nulle, la personne sera traversée par un courant d'environ 200 mA. Les risques seront donc les mêmes que dans le premier cas de contact direct.

On notera cependant que la valeur de ce courant dérivé dans le corps de la personne dépend en grande partie de la nature du contact pieds/sol. Ce courant sera d'autant plus faible que le degré d'isolement par rapport au sol sera grand (chaussures à semelles très isolantes ou sol non conducteur).

PROTECTIONS CONTRE CE TYPE DE RISQUE

La première protection ne pourra être assurée que d'une façon préventive par l'utilisation de barrières, d'enveloppes, de coffrets fermés, par éloignement ou isolation des parties actives. Cette isolation ne sera satisfaisante que si les matériaux employés présentent les caractéristiques imposées par la norme.

La deuxième protection préconisée par la norme N FC 15.100 comme complémentaire de la première sera réalisée par un dispositif différentiel (10 ou 30 mA) qui détectera le courant de défaut qui traverse le corps de la personne et qui devra mettre automatiquement l'équipement hors tension en un temps compris entre 20 et 30 ms en général.

Autre possibilité : Emploi de la très basse tension de sécurité (TBTS). Cette tension ne devra pas dépasser la valeur limite supérieure UI déterminée pour que, dans les conditions les plus défavorables, un contact avec cette tension ne puisse engendrer dans le corps un courant dangereux. (Voir fig. 12)

U _L (volts eff.)		Types de locaux
En alternatif	En continu	
50	100*	Locaux non mouillés ● habitations ● bureaux, etc.
25	50	Locaux mouillés ● en extérieur ● chantier ● quais, etc.
12	25	Locaux immergés ● volume de protection et d'enveloppe des salles d'eau ● piscines, etc.

Fig. 12

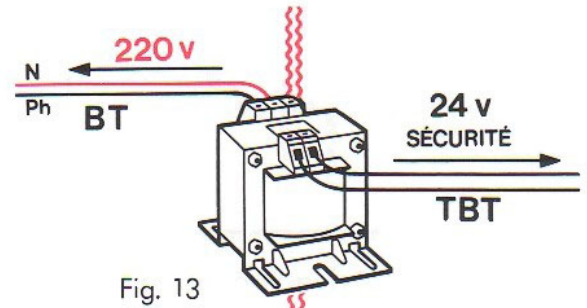


Fig. 13

Pour obtenir ces tensions de sécurité il sera impératif d'utiliser des transformateurs de sécurité répondant aux exigences de la norme.
 Il faudra exclure les auto-transformateurs, les dispositifs employant des résistances pour faire chuter la tension et tout autre montage qui abaisse la tension mais qui n'assure pas la séparation des circuits BT et TBT.

4. QU'APPELLE-T-ON CONTACT INDIRECT ?

C'est le contact d'une personne avec une masse métallique mise accidentellement sous tension par rupture d'isolant.

Ce type de contact est **très dangereux** car, contrairement au contact direct, il n'est pas lié à l'imprudance ou à la maladresse de l'utilisateur.

En considérant la figure 14 et en supposant que la résistance du défaut est faible, la personne placée dans cette condition sera soumise à un potentiel d'environ 220 V et traversée par un courant d'environ 200 mA !

Comme précédemment, ce courant dépendra aussi du degré d'isolement pieds/sol.

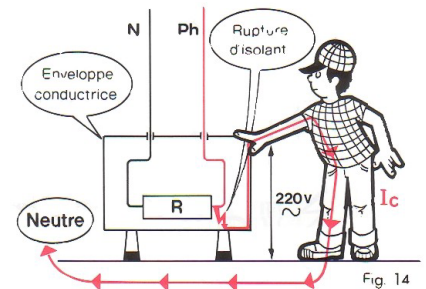


Fig. 14

Il sera donc très important de détecter rapidement ce défaut avant qu'une personne entre en contact avec la masse métallique.

PROTECTIONS CONTRE CE TYPE DE RISQUE

Par l'utilisation d'un dispositif à coupure automatique de l'alimentation en cas de défaut : disjoncteur ou interrupteur à courant différentiel résiduel (aussi appelé disjoncteur ou interrupteur différentiel).

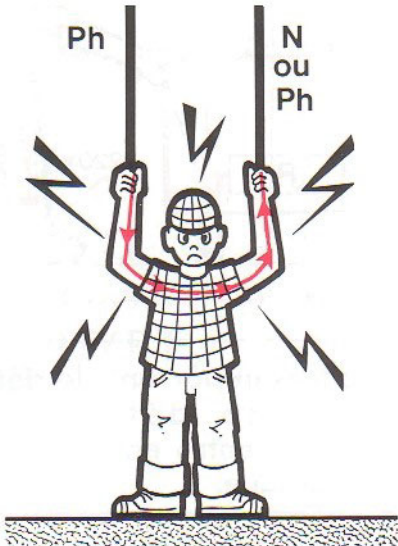

Pour bien se protéger des contacts indirects, trois conditions sont impératives :

- utiliser un différentiel moyenne ou haute sensibilité ;
- avoir une prise de terre de valeur correcte ;
- avoir raccordé toutes les masses métalliques de l'installation à cette prise de terre.

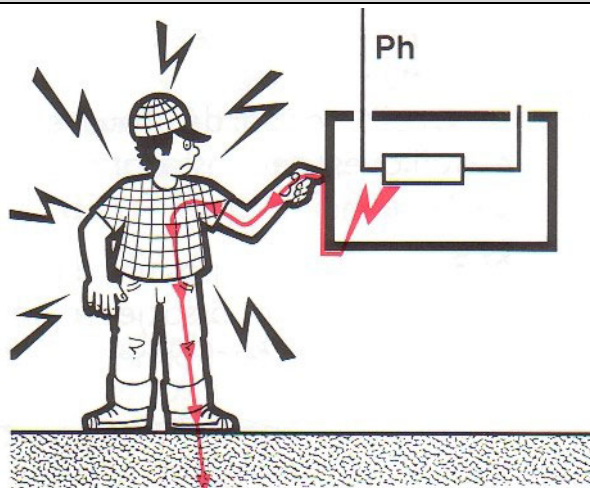
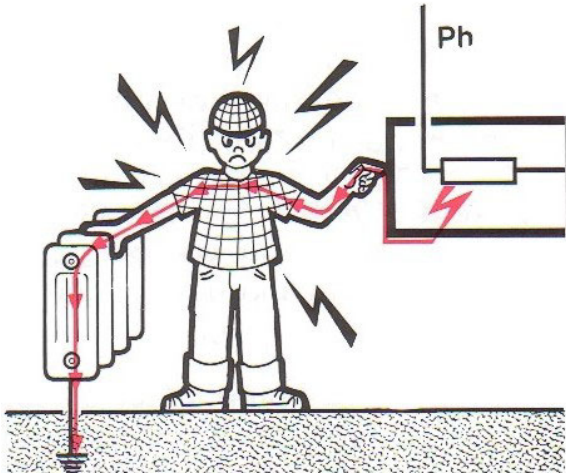
N.B. - Un dispositif différentiel seul c'est-à-dire non associé à une prise de terre ne peut fonctionner.

EN RÉSUMÉ... LES QUATRE PRINCIPAUX CAS D'ÉLECTROCUTION...

Accidents liés à l'imprudence et à la maladresse de l'utilisateur

CONTACTS DIRECTS	
 <ul style="list-style-type: none"> • Une personne travaille sur un circuit et celui-ci est mis sous tension sans préavis. • Utilisation d'un prolongateur mâle/mâle ou de cordons d'essais. • Un enfant introduit des broches métalliques dans une prise de courant... 	 <ul style="list-style-type: none"> • Une personne rentre dans un poste de distribution et touche à une barre sous-tension. • Une personne touche une canalisation encastrée avec l'extrémité d'un burin...

Accidents liés seulement à l'état du matériel employé

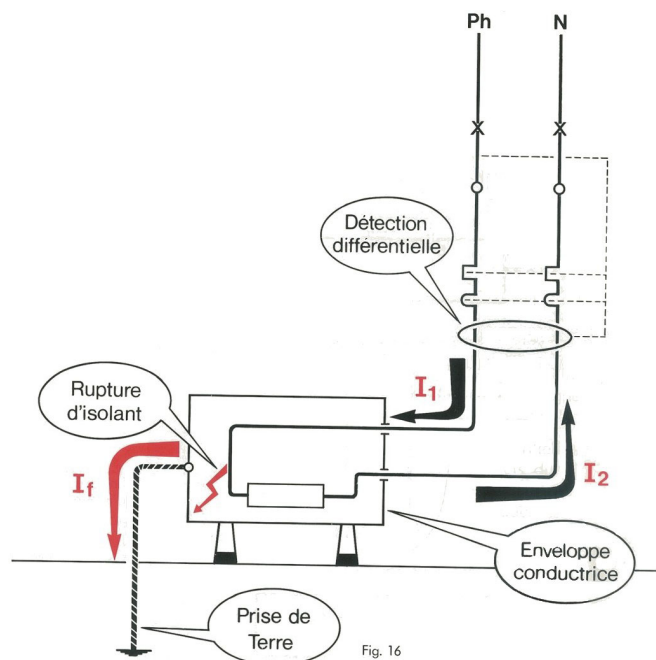
CONTACTS INDIRECTS	
 <ul style="list-style-type: none"> • Une personne touche à la carcasse métallique d'un appareil électrique présentant un défaut d'isolement. • Utilisation d'appareils anciens ou n'ayant pas fait l'objet d'une révision préventive. 	 <ul style="list-style-type: none"> • Comme dans le cas ci-contre, le récepteur est en défaut. Le retour vers la terre peut s'effectuer soit par un radiateur de chauffage central, par une huisserie métallique, par une autre carcasse reliée à la terre...

Principe de fonctionnement du disjoncteur différentiel

En l'absence de défaut (rupture d'isolant) nous aurons $I_1 = I_2$

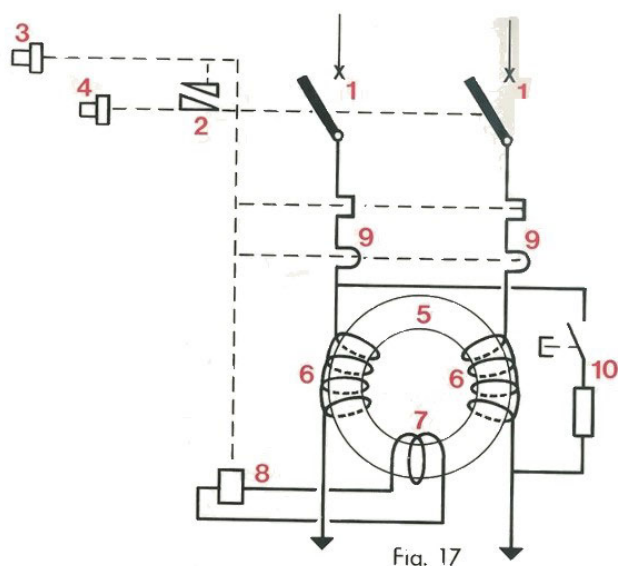
En présence d'un défaut d'isolement (voir fig. 16), nous aurons $I_1 > I_2$ avec $I_1 - I_2 = I_f$.

Le circuit de détection du différentiel va enregistrer cet écart entre le courant "sortant" et le courant "rentrant" ouvrant ainsi les contacts. L'équipement sera automatiquement mis hors tension.

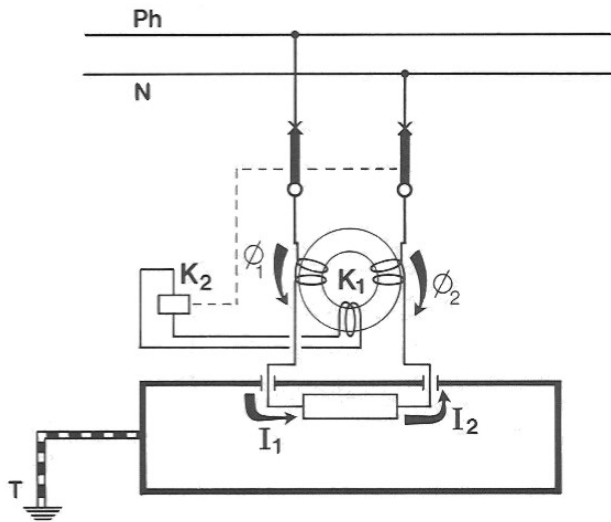
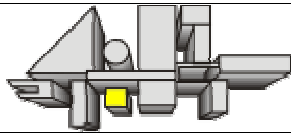


Structure interne d'un disjoncteur différentiel monophasé

1. Contacts de puissance



- 2. Accrochage mécanique
- 3. Élément de déclenchement
- 4. Élément de réarmement
- 5. Tore magnétique
- 6. Bobinages principaux
- 7. Bobine de détection
- 8. Relais sensible de détection
- 9. Détection thermique et magnétique
- 10. Bouton de test

**EN ABSENCE DE DÉFAUT**

$I_f = 0$, donc...

$$I_1 = I_2$$

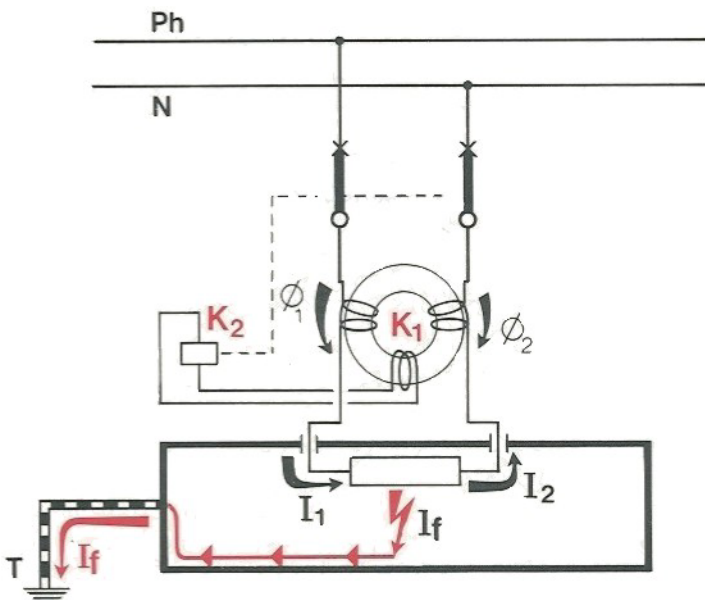
$$\Phi_1 = \Phi_2$$

$$\Phi_1 - \Phi_2 = 0$$

Donc pas de courant induit dans la bobine k1, la bobine k2 n'est pas excitée.

Les contacts ne s'ouvrent pas.

L'équipement fonctionne normalement.

**EN PRESENCE D'UN DÉFAUT D'ISOLEMENT**

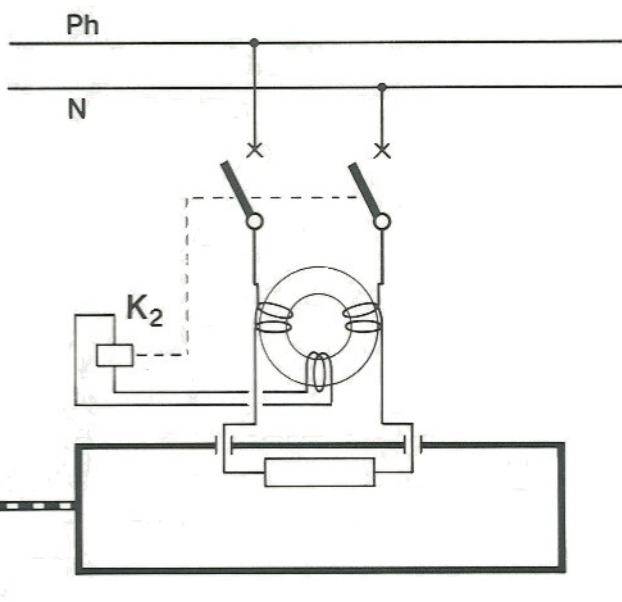
$I_f \neq 0$, donc...

$$I_1 > I_2$$

$$\Phi_1 > \Phi_2$$

$$\Phi_1 - \Phi_2 \neq 0$$

Un courant est donc induit dans la bobine k1...

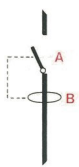


la bobine k2 est excitée,

les contacts s'ouvrent,

l'équipement est mis automatiquement hors tension.

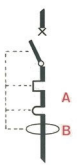
5. QU'EST-CE QU'UN INTERRUPTEUR DIFFÉRENTIEL ?



C'est un appareil ayant deux fonctions indépendantes regroupées dans un même boîtier :

- une fonction interrupteur classique A ;
- une fonction différentielle B utilisant l'interrupteur comme organe de coupure automatique.

6. QU'EST-CE QU'UN DISJONCTEUR DIFFÉRENTIEL ?



C'est un appareil ayant deux fonctions indépendantes regroupées dans un même boîtier :

- une fonction disjoncteur classique A (thermique/ magnétique) ;
- une fonction différentielle B utilisant les contacts du disjoncteur comme organe de coupure automatique.

7. POURQUOI CHOISIR UN DISJONCTEUR OU UN INTERRUPTEUR DIFFÉRENTIEL ?



L'interrupteur différentiel s'utilise lorsqu'il n'y a pas besoin d'assurer la protection surcharge et court-circuit, ces protections étant assurées en amont par fusible et/ou disjoncteur.

Lorsque ces protections ne sont pas assurées en amont, le disjoncteur différentiel s'impose.

En outre, les disjoncteurs et interrupteurs différentiels disposent d'un bouton de test à manoeuvrer périodiquement pour vérifier le bon fonctionnement de l'appareil. Ce circuit met le dispositif en déséquilibre et simule ainsi un déclenchement différentiel.

8. QU'APPELLE-T-ON SENSIBILITÉ D'UN DISPOSITIF DIFFÉRENTIEL ?

On appelle sensibilité d'un dispositif différentiel la valeur du courant de défaut dit "courant résiduel de défaut" pour lequel le dispositif s'ouvrira obligatoirement.

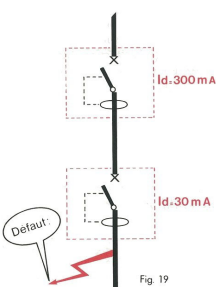
Les sensibilités et les plages de déclenchement sont normalisées comme suit.

Plage de déclenchement	Sensibilité
Entre 5 et 10 mA	10 mA
Entre 15 et 30 mA	30 mA
Entre 150 et 300 mA	300 mA

9. EN COMBIEN DE TEMPS UN DIFFÉRENTIEL DÉCLENCHE-T-IL ?

Lorsqu'il détecte un défaut, un différentiel ouvre le circuit dans un temps compris entre 20 et 30 ms. Ce temps est indépendant de la sensibilité de l'appareil et de la valeur du courant de défaut.

10. PEUT-ON RÉALISER UNE SÉLECTIVITÉ ENTRE DEUX DIFFÉRENTIELS ?



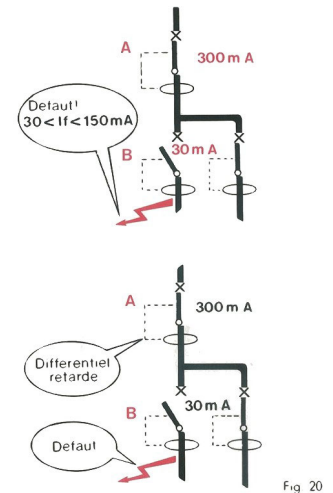
Les différentiels ayant des temps de déclenchement constant pour tout défaut supérieur à leur sensibilité, il n'est pas possible d'obtenir une sélectivité entre deux appareils même s'ils sont de sensibilités différentes.

Les deux différentiels déclenchent mettant ainsi "dans le noir" l'ensemble de l'équipement

Cependant, la sélectivité n'aura lieu que dans deux cas :

1. Si le défaut différentiel a une valeur comprise entre les deux plages de déclenchement des protections A et B (ce cas reste relativement rare et très aléatoire).
2. Si, par un artifice, la détection du différentiel A est retardée de 50 ms (différentiel retardé). Dans ce cas, quelle que soit la valeur du défaut, seul l'appareil B s'ouvrira (car son temps de déclenchement est inférieur à 50 ms).

On notera qu'un différentiel retardé ne devra être employé qu'en tête d'installation si tous les départs divisionnaires sont protégés par des différentiels instantanés. En aucun cas ce type de protection ne devra être employé seul (NFC 15.100).



11. QUELS SONT LES ÉLÉMENTS À RELIER À LA TERRE ?

- Les masses métalliques accessibles des appareils.
- Les broches de terre des prises de courant.
- Les structures métalliques des bâtiments: huisseries, charpentes métalliques, etc.
- Les éléments métalliques des salles d'eau, des piscines et en règle générale les éléments métalliques de tous les équipements situés à l'extérieur ou directement en contact avec un liquide conducteur.

Ne pas raccorder ces masses à la terre est aussi dangereux que l'absence de terre. Cela rend le différentiel inefficace.

12. COMMENT EST RÉALISÉE UNE PRISE DE TERRE ?

La résistance d'une prise de terre dépend :

- de la nature (plus ou moins conductrice) du sol, du taux d'humidité et de la température. Une prise de terre réalisée dans un sol argileux et humide sera de plus faible valeur ohmique que celle placée dans un sol sablonneux et sec ;
- de ses dimensions et de sa forme. Une prise de terre réalisée en boucle à fond de fouille (câble ceinturant les fondations d'un bâtiment) aura une meilleure valeur qu'un simple piquet enfoncé dans le sol.

Remarque : Il est interdit d'utiliser comme prise de terre les canalisations de gaz, de vidanges, de chauffage central. Mais il est important de mettre ces canalisations à la terre.

PRISE DE TERRE RÉALISÉE AVEC PIQUET

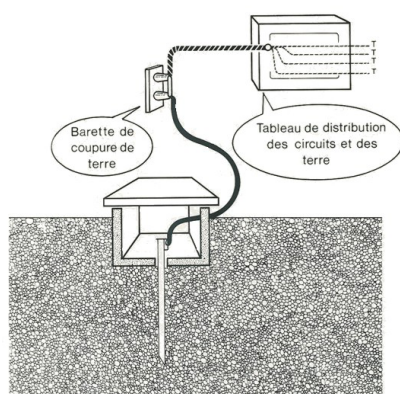


Fig. 21

PRISE DE TERRE RÉALISÉE FOND DE FOUILLE

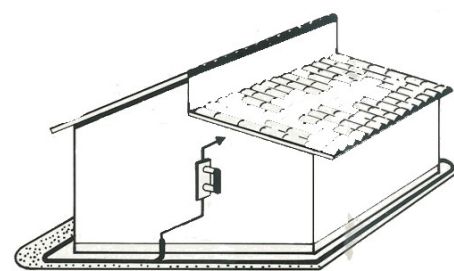
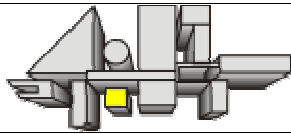
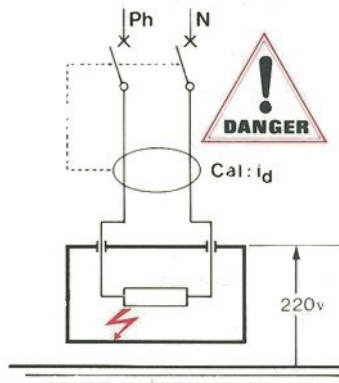


Fig. 22



EN RÉSUMÉ... Le différentiel c'est bien... Mais... !

SANS TERRE OU TERRE DÉCONNECTÉE



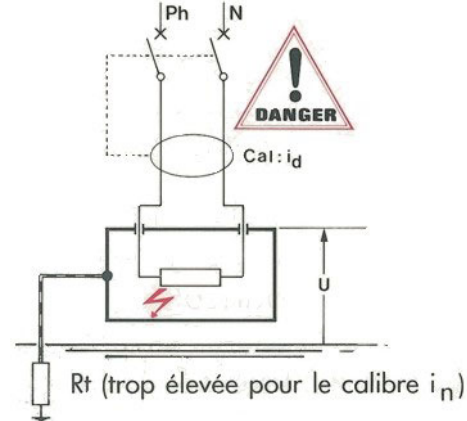
Le différentiel ne détectera pas de différence entre le courant rentrant et le courant sortant de l'installation.

La carcasse métallique sera portée au potentiel de 220 V.

Si une personne touche à la carcasse, cette personne sera soumise à une tension de 220 V ... !

Dans ce cas, le différentiel 300 mA ne sert à rien. Seul le différentiel 30 mA peut sauver l'utilisateur.

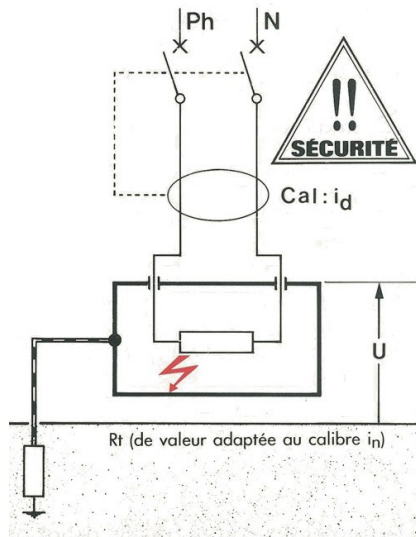
MAUVAISE TERRE OU COSSES DESSERRÉES



La résistance de terre étant trop élevée, le courant de fuite sera inférieur au courant de déclenchement du différentiel. Le différentiel ne déclenche pas et ne sert donc à rien. La carcasse sera portée à un potentiel dangereux.

Ce cas de non-déclenchement de la protection peut aussi être dû à un desserrage ou mauvais serrage des cosSES de terre.

Dans ce cas, seul un différentiel 30 mA peut sauver l'utilisateur.



Le courant de défaut étant supérieur au calibre du différentiel, celui-ci ouvrira ses contacts et mettra ainsi l'installation hors tension.

La protection remplira donc son rôle avant qu'une personne rentre en contact avec la carcasse métallique.

NOTA.

Si vous constatez qu'une protection différentielle a déclenché, il ne faut surtout pas chercher à tout prix à remettre l'équipement sous tension. Il faudra détecter et éliminer ce défaut en premier lieu.

IMPORTANT.

Chaque fois que les prises de terre sont mauvaises ou aléatoires, utiliser de préférence des différentiels 30 mA au lieu de 300 mA pour la protection contre les contacts indirects.

 STI Génie Énergétique	ÉTUDE DES SYSTÈMES TECHNIQUES INDUSTRIELS AUTOMATIQUE & INFORMATIQUE APPLIQUEE	Cours
LA PROTECTION ELECTRIQUE DES PERSONNES		

13. COMMENT CHOISIR UNE PROTECTION DIFFERENTIELLE ?

La norme NFC 15.100 impose ou recommande l'emploi d'une protection différentielle de sensibilité inférieure ou égale à 30 mA dans des cas tels que :

- Prise de terre de valeur trop élevée (sol sablonneux ou granitique).
- Exploitations agricoles.
- Magasins de jouets animés.
- Appareils utilisés sur la voie publique (rôtissoires, machines à glace...).
- Laboratoires et salles techniques des établissements scolaires.
- Chantiers.
- Stands forains.
- Terrains de camping et de caravaning.
- Quais des ports de plaisance.
- Locaux où le risque de coupure du conducteur de protection existe.
- Salle d'eau.
- Éclairages extérieurs (jardins).
- Prises de courant pour petit appareillage.
- Électro-portatif d'extérieur (tondeuse, taille-haie,...).
- Piscines, bassins et fontaines.
- Sanitaires des immeubles collectifs (prise de courant des salles de lavabo).
- Cabines téléphoniques et abris-bus.
- Câbles chauffants sans armure métallique et noyés dans le sol.
- Locaux à risque d'explosion.
- Groupes électrogènes.

Nota. Cette liste est donnée à titre d'exemple et ne peut en aucun cas être considérée comme un élément de référence.

Dans le cas des locaux comportant un risque d'incendie, la protection sera assurée par un dispositif différentiel de sensibilité 300 mA (station service, stockage de produits inflammables...). Les locaux d'habitation seront équipés, en tête de distribution d'un différentiel de sensibilité 500 mA.

14. EXISTE-T-IL UNE REGLEMENTATION PARTICULIERE DANS LES LOCAUX D'HABITATION ?

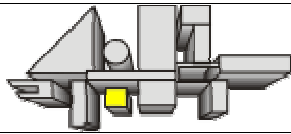
Dans les locaux d'habitation le risque d'électrocution est dû à la présence d'eau dans certaines pièces et à la nature plus ou moins conductrice du sol.

- CUISINE : Eau + sol conducteur (carrelage).
- BUANDERIE : Eau + sol conducteur (carrelage ou ciment).
- SOUS-SOL : Eau + sol conducteur (ciment).
- EXTÉRIEUR : Eau (pluie) + sol conducteur (terre).
- SALLE D'EAU : Eau + sol conducteur (carrelage).

Pour les trois premiers types de pièces, les prises de courant doivent être équipées de fiches de terre (prise 2 P + T). Ces prises seront installées à plus de 25 cm du sol si celui-ci est conducteur. Les masses métalliques des appareils doivent être raccordées à la terre. Certains appareils ne comportant pas de prises de terre pourront cependant être utilisés dans ces locaux s'ils sont de classe II.

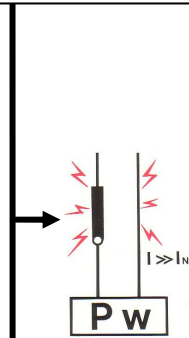
A l'extérieur, les circuits d'éclairage devront être raccordés à la terre s'ils sont de classe I (lanternes métalliques, etc.) ou de classe II (double isolation et ne disposant donc pas par définition de borne de terre).

Le petit appareillage électroportatif (tondeuses à gazon, etc.) devra être raccordé à une prise 2 P + T de préférence placée en intérieur et alimentée à travers un dispositif de protection différentiel (30 mA).

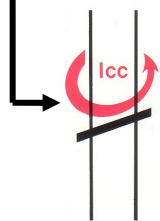


La sécurité : C'est pouvoir utiliser une installation électrique sans risque, ni pour les conducteurs et les appareils de commande, ni pour les personnes.

Protection des circuits : Si le courant dans les conducteurs et les appareils de commande dépasse la valeur nominale fixée, il y aura **SURINTENSITÉ**.



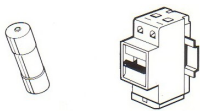
Surcharge : Par exemple : trop d'appareils branchés sur un même circuit. Il y aura échauffement des conducteurs et des appareils de commande, d'où risque d'incendie.



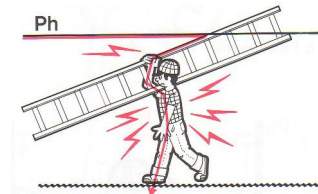
Court-circuit : Deux points à des potentiels différents directement mis en contact. Le courant pourra atteindre quelques milliers d'ampères, d'où destruction très rapide des conducteurs et risque d'incendie.

Les solutions :

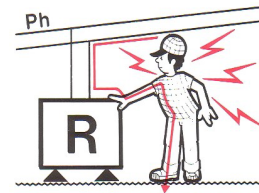
Protection par cartouche fusible ou disjoncteur magnéto-thermique.



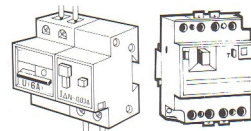
Protection des personnes : Si le courant qui circule dans le corps humain dépasse quelques milliampères il y aura risque d'**ÉLECTROCUTION**.



Contact direct : La personne rentre en contact avec un élément sous tension suite à une négligence ou au non-respect des consignes de sécurité.



Contact indirect : La personne est en contact avec un élément sous tension par le fait d'un défaut d'isolement (vieillesse ou rupture des isolants). Dans ce cas la responsabilité de la personne n'est pas mise en jeu. L'électrocution est la conséquence d'un défaut imprévisible et non d'une maladresse de la personne.



La solution : La norme NFC 15.100 préconise des précautions d'installation complétées par un dispositif différentiel haute sensibilité.

La solution: Installer en tête de circuit un dispositif différentiel associé à une prise de terre de résistance compatible avec la sensibilité du différentiel.

Dans tous les cas l'association de ces appareils de protection n'assurera la **SÉCURITÉ** des personnes et des lignes que s'ils sont convenablement choisis et installés. La norme NFC 15.100 a été créée pour faciliter ce choix.