

Le courant du secteur :

EXPERIENCES SUR LA PROTECTION

par Christian PUARD,
Collège Jean-Rostand,
86170 Neuville-de-Poitou.

Les problèmes de sécurité liés à l'utilisation du courant du secteur figurent au programme de la classe de 6^e et surtout de la classe de 4^e.

Les instructions officielles pour le nouveau programme de 4^e comportent les rubriques suivantes :

2.2. Courant alternatif du secteur.

2.2.1. Programme.

Phase et neutre - prise de terre.

Règles de sécurité.

Protection des biens : fusible, disjoncteur.

Protection des personnes : terre, disjoncteur différentiel.

2.2.2. Objectifs.

Montrer le rôle fonctionnel — et social — des dispositifs de sécurité, de manière à induire chez les élèves des comportements de citoyens avertis et responsables.

2.2.3. Commentaires.

On ne cherchera pas à justifier, d'un point de vue théorique, le fonctionnement d'un disjoncteur différentiel ; on se limitera à la vérification de sa fonction et à l'explication de son rôle.

Le but principal de cet article est la présentation d'une **maquette permettant l'étude du rôle du disjoncteur différentiel et de la prise de terre**. Des indications pratiques pour sa construction y sont exposées, ainsi que des suggestions pour son utilisation pédagogique en classe de 6^e et de 4^e.

I. LES ORGANES DE SECURITE.

Pour assurer la sécurité des habitations et des personnes, les installations électriques intérieures sont dotées d'organes de protection spéciaux.

Leurs rôles consistent à ouvrir le plus rapidement possible le circuit général, s'il y a surintensité, ou courant de fuite.

SURINTENSITE.

Il y a surintensité lorsque le courant a une intensité supérieure à celle prévue par suite :

- d'une surcharge,
- ou d'un court-circuit.

Il y a *surcharge* lorsqu'un appareil (ou plusieurs) est parcouru par un courant d'intensité supérieure à celle qu'autorise l'installation, ce qui entraîne un échauffement excessif et une dégradation de l'appareillage : un organe de sécurité doit interrompre la liaison de l'installation avec le secteur.

Il y a *court-circuit* lorsque deux conducteurs à des potentiels différents se trouvent en contact ou réunis par un conducteur très peu résistant. L'intensité du courant devient très grande. Si le courant n'est pas coupé rapidement, le dégagement excessif de chaleur, surtout à l'endroit où se produit le court-circuit, peut provoquer un incendie.

COURANT DE FUITE.

Il y a courant de fuite lorsqu'un conducteur entre en contact électrique avec la terre :

- dû au fait d'une mauvaise isolation ; dans ce cas l'intensité du courant de fuite, reste en général suffisamment faible pour ne pas provoquer de danger pour les personnes ;
- dû à la mise à la terre d'un conducteur de phase par l'intermédiaire :
 - soit d'un appareil dans lequel un défaut franc se manifeste,
 - soit d'une personne ne suivant pas les prescriptions réglementaires d'utilisation.

Dans ces deux derniers cas, la situation est dangereuse pour les personnes et le courant doit être coupé le plus rapidement possible.

DIFFERENTS ORGANES DE SECURITE.

- *Le coupe-circuit fusible* assure seulement la protection contre les surintensités.
- *Le disjoncteur*. Le disjoncteur est un interrupteur automatique commandé par soit :
 - * une surintensité,
 - * un courant de fuite,
 - * une surtension.

Il ne se détériore pas lors de son fonctionnement. Après élimination du défaut qui a provoqué son déclenchement, il suffit de réenclencher le disjoncteur pour fermer le circuit et l'utiliser à nouveau.

Avantages de ces appareils :

- ils peuvent être utilisés comme organe de coupure,
- ils assurent une protection simultanée sur les 3 phases,
- avec le même appareil, on a le choix entre plusieurs intensités de coupure.

Ils sont caractérisés par :

- leur tension nominale (tension d'utilisation),
- leur intensité nominale (intensité en usage normal),
- le pouvoir de coupure qui exprime l'intensité maximale que les disjoncteurs peuvent couper, en cas de défaut sans être détériorés,
- le calibre : gamme de réglage d'intensité de coupure.

Les disjoncteurs sont de 3 types, associés en série dans un même appareil, ils assurent trois fonctions différentes :

- *Le disjoncteur thermique* (fig. 1) assure une protection contre les faibles surintensités. L'échauffement anormal d'un bilame traversé par le courant du circuit provoque la coupure. Mais il agit avec un retard, car la surintensité peut être transitoire.
- *Le disjoncteur magnétique* protège contre les fortes surintensités qui doivent être éliminées rapidement. Le courant agit par ses effets magnétiques. Il traverse la bobine d'un électro-aimant réglé de façon à n'attirer une armature qui commande le déclenchement du disjoncteur que si l'intensité dépasse une certaine valeur. Celui-ci provoque la coupure très rapidement, le déclenchement à la coupure est en général réglable pour des intensités différentes.

(LE DISJONCTEUR MAGNÉOTHERMIQUE combine les deux protections précédentes).

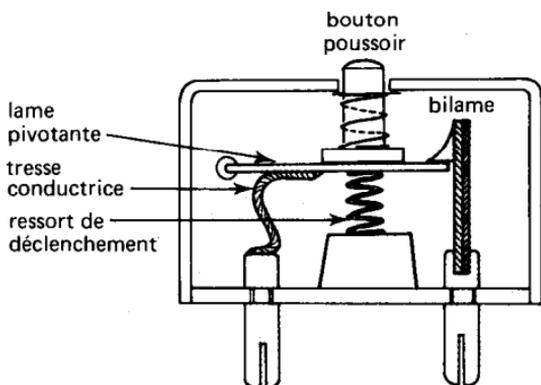


Fig. 1

— *Le disjoncteur différentiel.* Un dispositif de coupure est prévu pour fonctionner en cas de défaut d'isolement par rapport à la terre.

Le principe du disjoncteur différentiel (fig. 2 a et 2 b) a été exposé dans le B.U.P. n° 703 d'avril 1988, pages 487 à 496. Le lecteur pourra utilement s'y reporter. Rappelons seulement que ce dispositif coupe le circuit lorsque la différence I_d entre l'intensité dans le fil de phase et le neutre atteint une valeur I_f qui caractérise l'appareil. Pour les disjoncteurs différentiels courants, la valeur I_f est 500 ou 650 mA. Ce n'est pas suffisant pour assurer la protection d'une personne entrant en contact direct avec un conducteur sous tension ; le seuil reconnu dangereux pour l'homme est de 25 à 30 mA. Un système plus sensible a été conçu sur le même principe, mais il peut se déclencher plus rapidement (30 à 50 ms) et pour une intensité $I_f = 30$ mA : c'est l'interrupteur différentiel à haute sensibilité.

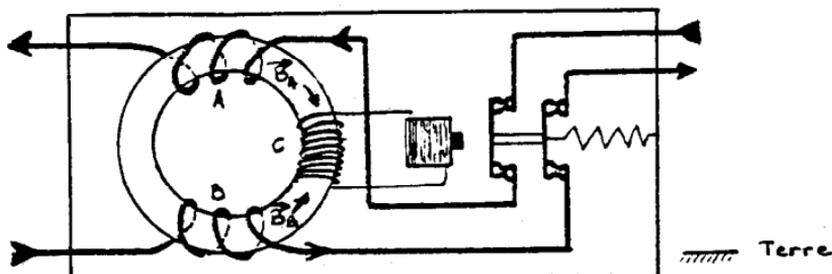


Fig. 2 a. — Fonctionnement normal.

Les deux flux magnétiques ϕ_A dû à \vec{B}_A et ϕ_B dû à \vec{B}_B égaux en valeur absolue et de signes opposés, s'annulent. Il n'y a pas de courant induit dans C donc dans l'électroaimant. Le circuit reste fermé.

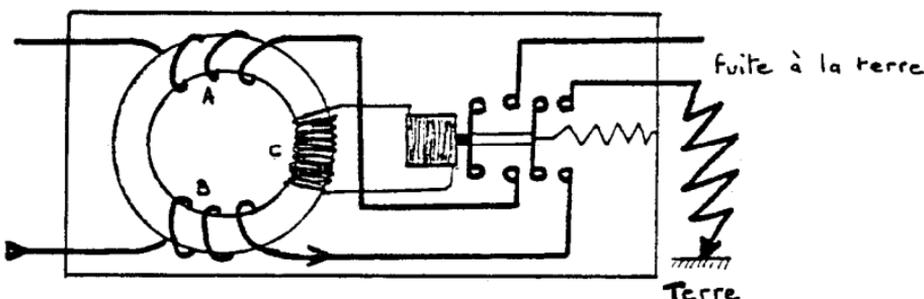


Fig. 2 b. — S'il y a un défaut d'isolement dans l'installation (entre un conducteur et la terre).

Si $|\phi_A| \neq |\phi_B|$. Un flux résultant $\phi_C = \phi_A + \phi_B$ traverse C ; comme ϕ_C est alternatif, il induit dans C un courant qui traverse l'électroaimant : le disjoncteur déclenche.

Remarque :

L'efficacité des disjoncteurs différentiels est nulle, dans le cas où l'usager isolé de la terre entre en contact direct entre la phase et le neutre.

II. CONSTRUCTION D'UNE MAQUETTE POUR L'ETUDE DE LA PROTECTION DES PERSONNES.

La maquette dont le plan général est donné par la fig. 3 a représente une installation domestique équipée d'un disjoncteur différentiel. Elle permet d'introduire des résistances (R_T) simulant des prises de terre bonnes ou mauvaises, ainsi que des défauts francs ou d'isolement (R_d) (fig. 3 b). Enfin une silhouette humaine sera préparée comme l'indique la fig. 3 c, elle peut être mise en contact avec, d'une part la carcasse métallique de la machine et, la terre d'autre part. Elle porte une LED qui s'allume lorsque l'intensité qui la traverse atteint la valeur qui met en danger une personne.

LISTE DU MATERIEL POUR LA REALISATION DE CETTE MAQUETTE

- homme à découper dans un rectangle de 200 mm \times 120 mm de carton rigide léger ;
- bandes de tôles minces d'aluminium (ou autre) pour la réalisation des bras et jambes (récupérer des tôles d'Offset chez un imprimeur). A défaut, du fil de cuivre de 2,5 ou 4 mm² que l'on martèle pour les mains et les pieds ;
- une LED rouge ;
- une résistance de protection de la LED $R \simeq 450 \Omega$, $P = 0,25 \text{ W}$ (voir le calcul des éléments de la maquette en Annexe 1) ;

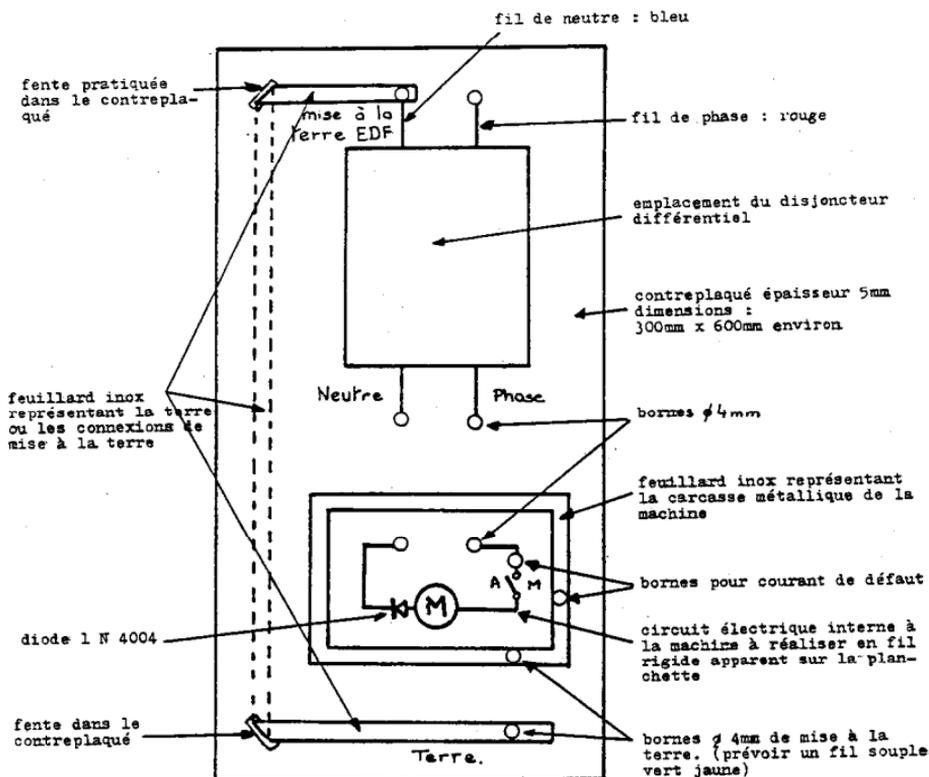
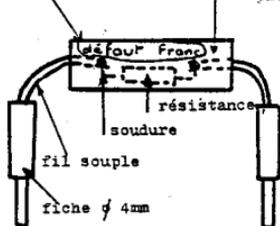


Fig. 3 a.

étiquette indiquant la nature du défaut ou la qualité de la terre tube (dose homéopathique)



à prévoir en 4 exemplaires

- défaut d'isolement } fil unicolore noir
- défaut franc } R_d
- bonne prise de terre } fil bicolore
- mauvaise prise de terre } vert jaune
- R_T

Fig. 3 b.

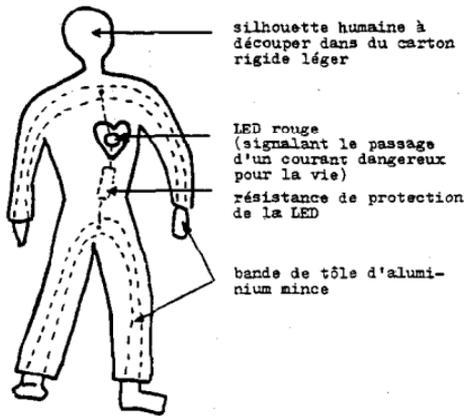


Fig. 3 c.

- une planchette de contreplaqué épaisseur 5 mm environ de 300 mm × 600 mm environ ;
- un disjoncteur différentiel à récupérer à l'E.D.F. (ici, seule la fonction différentielle est utilisée) ;
- un moteur de 6 V ;
- une diode 1 N 4004 ;
- un interrupteur ;
- 50 cm de fil rigide (pour la réalisation du circuit électrique de la machine) ;
- 50 cm de fil bleu de 1,5 mm² (fil de neutre) ;
- 50 cm de fil rouge de 1,5 mm² (fil de phase) ;
- 2 m de feuillard inox ou de bande métallique (pour la réalisation de la terre, la mise à la terre E.D.F. et la carcasse métallique de la machine) ;
- 10 bornes de 4 mm ;
- visserie ;
- 8 fiches bananes 4 mm ;
- 50 cm de fil bicolore vert jaune souple ;
- 50 cm de fil unicolore noir souple ;
- 4 tubes (doses homéopathiques) ;
- soudure ;
- 4 résistances : 2 résistances de terre R_T et 2 résistances de défaut R_d , adaptées au disjoncteur différentiel utilisé.

Le calcul de ces résistances est donné en Annexe 1. Ce calcul est relatif à la maquette, il correspond à une tension d'alimentation de 6 V (au lieu de 220 V dans la réalité) et à une tension maximale entre la masse métallique et la terre de 1,5 V (au lieu de 24 V dans la réalité).

Résultats du calcul :

— pour un disjoncteur différentiel :

$I_f = 30$ mA et un générateur de 6 V	
bonne prise de terre $R_T < 50 \Omega$	$P = 0,25$ W,
mauvaise prise de terre $R_T = 1\,000 \Omega$	$P = 0,25$ W,
défaut important : $R_d \approx 55 \Omega$;	$P = 0,5$ W,
défaut faible : $R_d = 60$ k Ω	$P = 0,25$ W ;

— pour un disjoncteur différentiel :

$I_f = 500$ ou 650 mA et un générateur de 6 V	
bonne prise de terre $R_T < 3 \Omega$	$P = 0,75$ W,
mauvaise prise de terre $R_T = 1\,000 \Omega$	$P = 0,25$ W,
défaut important : $R_d < 8 \Omega$ 2 W ;	$P = 0,25$ W,
un fil ($R = 0 \Omega$) peut convenir,	
défaut faible : $R_d = 60$ k Ω	$P = 0,25$ W.

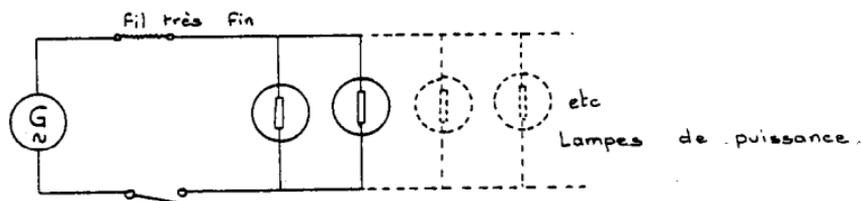
III. QUELQUES IDEES POUR UNE PROGRESSION PEDAGOGIQUE EN 6^e ET 4^e.

A) En 6^e, prérequis : circuit électrique, circuit série, circuit en dérivation, symboles électriques usuels, conducteurs, isolants.

1) PROTECTION DES BIENS.

a) LE COUPE-CIRCUIT FUSIBLE (en 2 temps) :

* Placer en série avec le générateur entre 2 pinces crocodiles montées sur un support, un fil très fin en acier (provenant d'un tampon de laine d'acier).



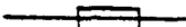
Choisir les lampes pour qu'à la 3^e, le fil fonde.

Remarque :

Ne pas utiliser de piles comme générateur, elles ne fournissent pas en régime normal un courant suffisamment grand pour cette expérience.

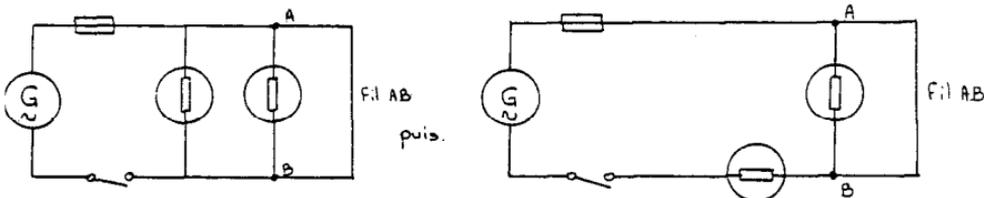
* Refaire la même expérience avec un coupe-circuit à cartouche en verre, montée sur une planchette.

Remarquer qu'il y a destruction du fil par fusion, et projection de métal en fusion, d'où présence de sable dans les cartouches de coupe-circuit.

Symbole du coupe-circuit 

* Il est possible d'aborder à ce niveau la notion de court-circuit, avec les montages suivants :

réaliser le montage — fermer l'interrupteur, puis placer le fil AB.



b) LE DISJONCTEUR (type diruptor) 1 à 3 A :

* Même travail que le précédent avec des diruptors montés sur des planchettes.

Dans ce cas, il n'y a pas destruction de l'appareil. Il agit avec un temps de retard. Il est possible de l'utiliser comme interrupteur, son symbole est :



2) PROTECTION DES PERSONNES.

Utilisation de la maquette dans les cas suivants :

- * Pas de défaut ; pas de prise de terre.
- * Défaut et pas de prise de terre. (Ici nous n'envisagerons que le cas du courant de défaut supérieur au courant de fuite $I_d > I_f \Rightarrow$ c'est l'électrocution.

* Défaut avec prise de terre :

- mauvaise prise de terre \Rightarrow c'est l'électrocution,
- bonne prise de terre \Rightarrow dès l'apparition du défaut, ouverture automatique du circuit.

B) En 4^e, prérequis : courant électrique, continu, alternatif, intensité, tension, transport du courant électrique, phase, neutre, terre.

1) PROTECTION DES BIENS.

Pas d'étude systématique, mais dans tous les circuits réalisés (depuis la protection des biens en 6^e) elle est intégrée.

2) PROTECTION DES PERSONNES.

Utilisation de la maquette dans les cas suivants :

* Pas de défaut ; pas de prise de terre.

* Défaut et pas de prise de terre :

— défaut faible ⇒ aucun danger,

— défaut important ⇒ c'est l'électrocution ;

* Défaut et prise de terre.

1) Mauvaise terre :

— défaut faible ⇒ pas de danger,

— défaut important ⇒ c'est l'électrocution ;

2) Bonne terre :

— défaut faible ⇒ pas de danger,

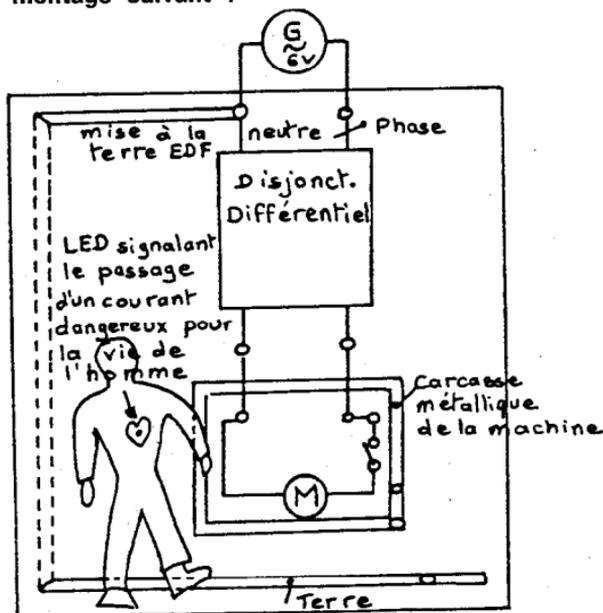
— défaut important ⇒ ouverture automatique du circuit dès l'apparition du défaut.

Voici ci-après, les questions posées en classes de 6^e et 4^e, pour le travail des élèves sur la maquette.

CLASSE DE 6^e :

QUESTIONS

I. Réalise le montage suivant :

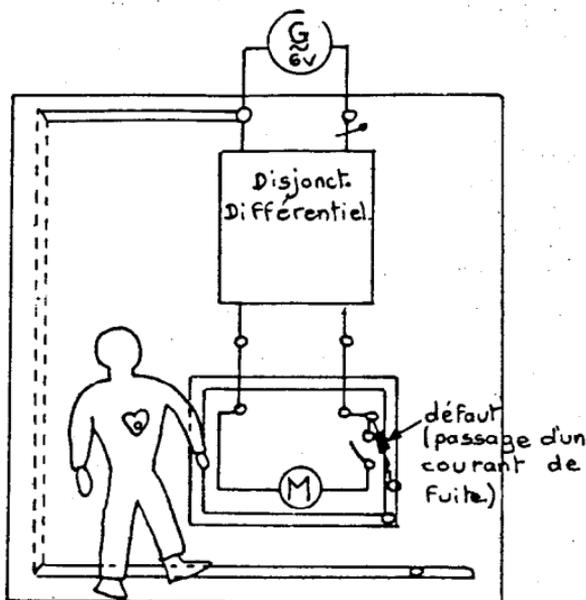


- relie les bornes d'arrivée du courant au générateur 6 V,
- relie les bornes du moteur aux bornes du disjoncteur,
- fais toucher la main du personnage à la carcasse de la machine,
- dessine en rouge sur ce schéma le trajet du courant.

OBSERVATIONS :

CONCLUSION :

II. Complète le montage précédent :

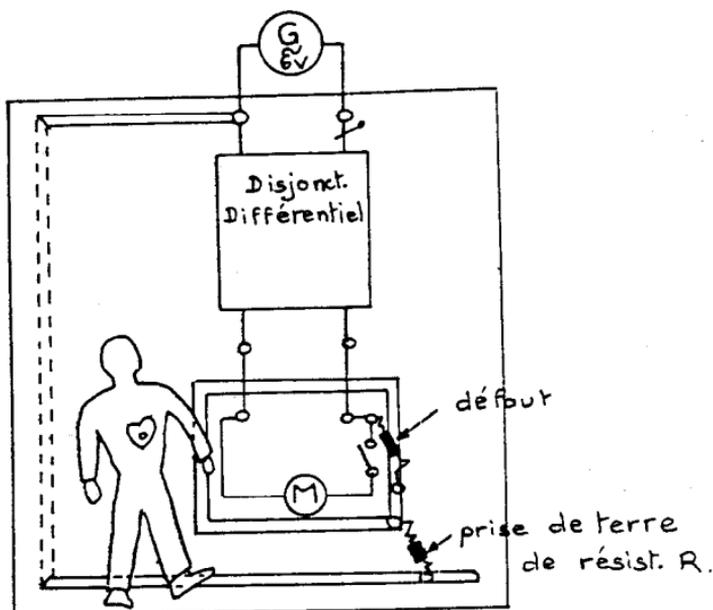


- en plaçant un défaut comme l'indique la figure ci-dessus,
- fais toucher la main du personnage à la carcasse de la machine,
- dessine en rouge sur ce schéma, le trajet du courant de fuite.

OBSERVATIONS :

CONCLUSION :

III. Mise à la terre de l'installation :



— dessine en rouge sur ce schéma, le trajet du courant de fuite.

2 solutions :

- a) la résistance de la prise de terre est grande ($R > 37 \Omega$),
— recommence l'expérience précédente.

OBSERVATIONS :

- b) la résistance de la prise de terre est faible ($R < 37 \Omega$),
— recommence l'expérience précédente.

OBSERVATIONS :

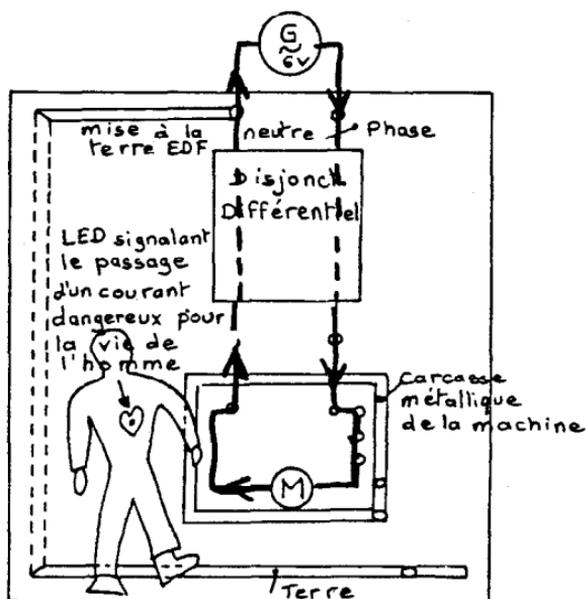
CONCLUSION :

CLASSE DE 6^e :

REPONSES AUX QUESTIONS

Remarque :

Les flèches n'indiquent pas le sens du courant, mais permettent de visualiser le circuit électrique.



I. Réalise le montage suivant :

- relie les bornes d'arrivée du courant au générateur 6 V,
- relie les bornes du moteur aux bornes du disjoncteur,
- fais toucher la main du personnage à la carcasse de la machine,
- dessine en rouge sur ce schéma le trajet du courant.

OBSERVATIONS :

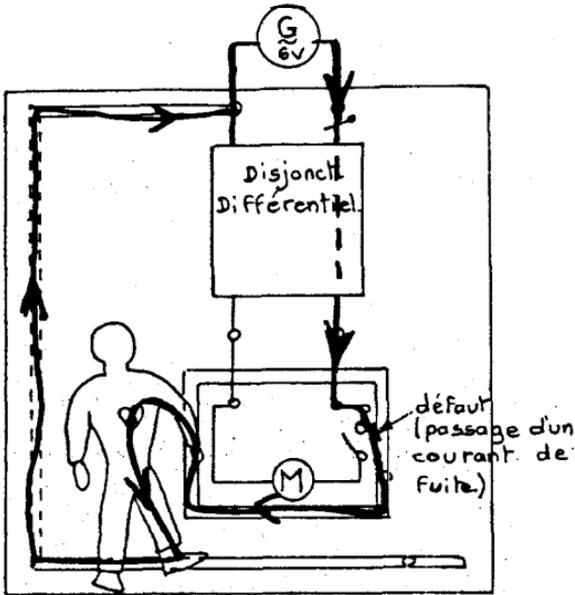
La lampe (LED) ne s'allume pas, le moteur tourne normalement.

CONCLUSION :

Si l'installation est en bon état, et si l'homme ne commet pas d'imprudence, il n'y a pas de danger.

II. Complète le montage précédent :

- en plaçant un défaut comme l'indique la figure ci-dessus,
- fais toucher la main du personnage à la carcasse de la machine,
- dessine en rouge sur ce schéma, le trajet du courant de fuite.



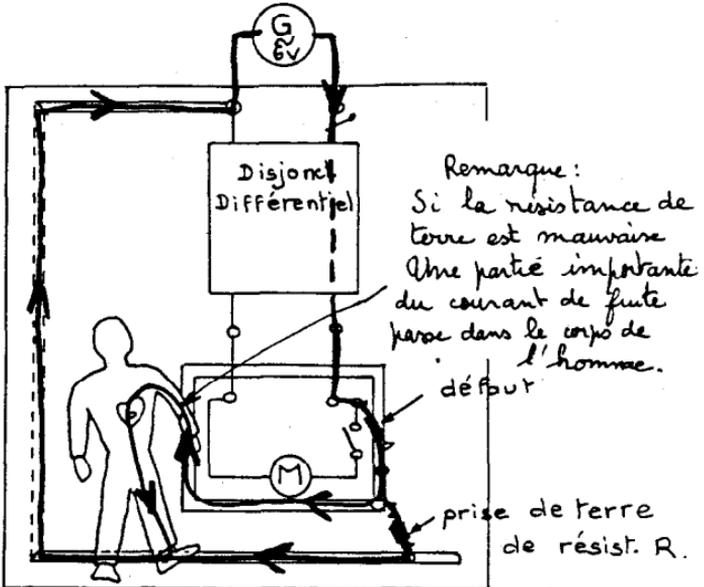
OBSERVATIONS :

La LED s'allume, le moteur tourne.

CONCLUSION :

Si un défaut se produit, l'homme, en touchant la machine peut être électrocuté.

III. Mise à la terre de l'installation :



— dessine en rouge sur ce schéma, le trajet du courant de fuite.

2 solutions :

- a) la résistance de la prise de terre est grande ($R > 37 \Omega$),
— recommence l'expérience précédente.

OBSERVATIONS :

Le moteur tourne, la LED s'allume.

- b) la résistance de la prise de terre est faible ($R < 37 \Omega$),
— recommence l'expérience précédente.

OBSERVATIONS :

Le disjoncteur ouvre le circuit, dès l'apparition du défaut. Il faut le supprimer pour pouvoir utiliser à nouveau l'installation.

CONCLUSION :

Pour protéger la vie de l'homme, il faut :

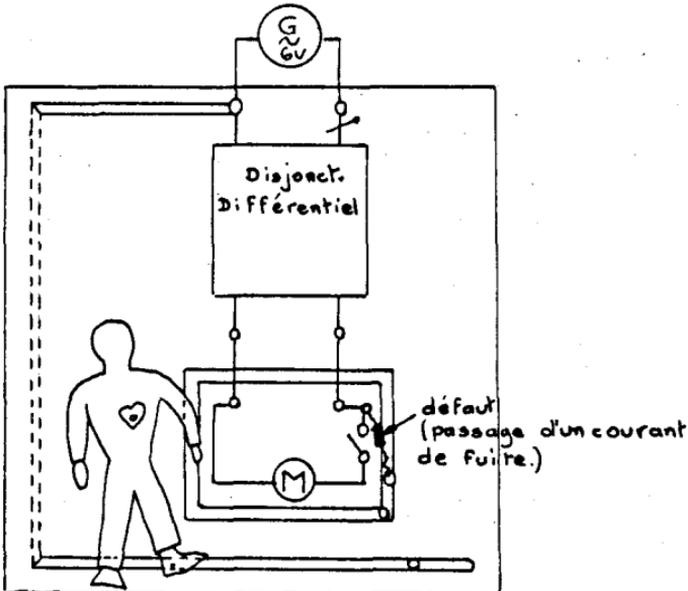
- une bonne prise de terre,
- un disjoncteur différentiel,
- relier les appareils métalliques à la terre.

CLASSE DE 4^e :

QUESTIONS

La question I est la même qu'en classe de 6^e.

II. Complète le montage précédent :



- en plaçant un défaut comme l'indique la figure ci-dessus,
- dessine en rouge sur ce schéma, le trajet du courant de fuite.

2 solutions :

- a) défaut : le courant de fuite est très faible (mauvais isolement d'un fil de phase par exemple).

OBSERVATIONS :

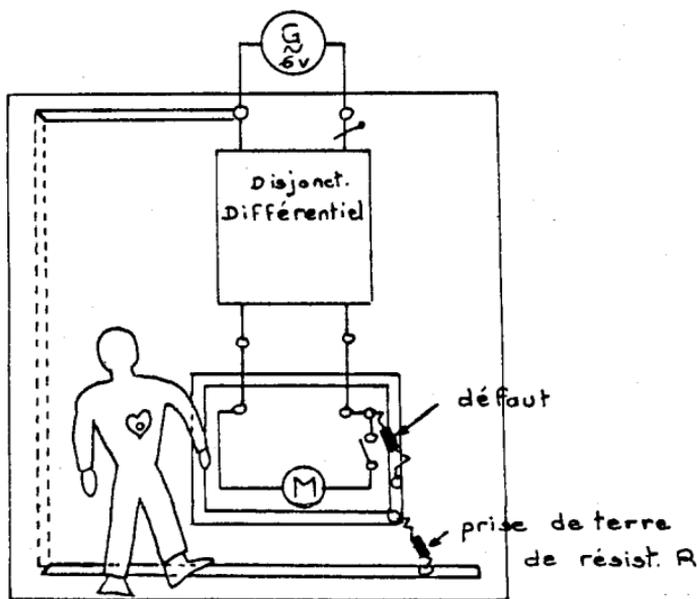
CONCLUSION :

- b) défaut : le courant de fuite est grand (contact franc entre un fil de phase et la carcasse de la machine).

OBSERVATIONS :

CONCLUSION :

III. Mise à la terre de l'installation :



- dessine en rouge sur ce schéma, le trajet du courant de fuite.

2 solutions :

- a) la résistance de la prise de terre est grande ($R > 37 \Omega$),
 — recommence les 2 expériences précédentes.
 1) le courant de fuite est faible.

OBSERVATIONS :

2) le courant de fuite est grand.

OBSERVATIONS :

b) la résistance de la prise de terre est faible ($R < 37 \Omega$),

1) le courant de fuite est faible.

OBSERVATIONS :

2) le courant de fuite est grand.

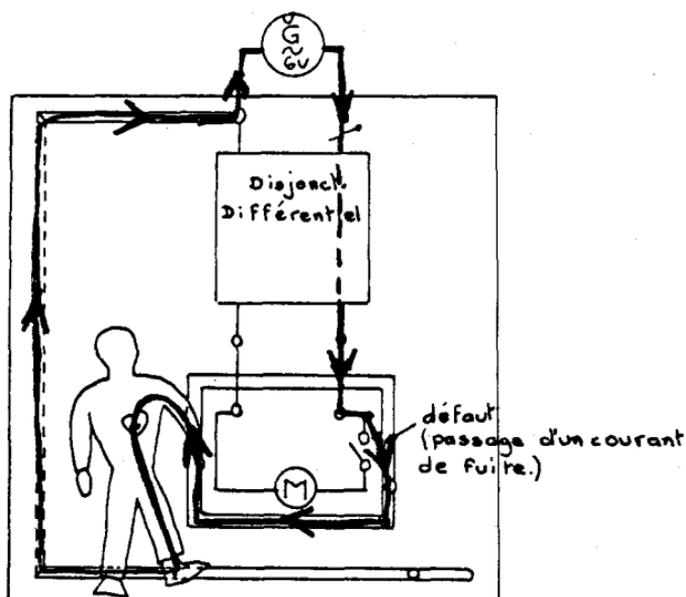
OBSERVATIONS :

CONCLUSION :

CLASSE DE 4^e :

REPNSES AUX QUESTIONS

II. Complète le montage précédent :



- en plaçant un défaut comme l'indique la figure ci-dessus,
- dessine en rouge sur ce schéma, le trajet du courant de fuite.

2 solutions :

a) défaut : le courant de fuite est très faible (mauvais isolement d'un fil de phase par exemple).

OBSERVATIONS :

La LED ne s'allume pas, le moteur tourne.

CONCLUSION :

Si le courant de fuite est faible, la vie de l'homme n'est pas en danger.

b) défaut : le courant de fuite est grand (contact franc entre un fil de phase et la carcasse de la machine).

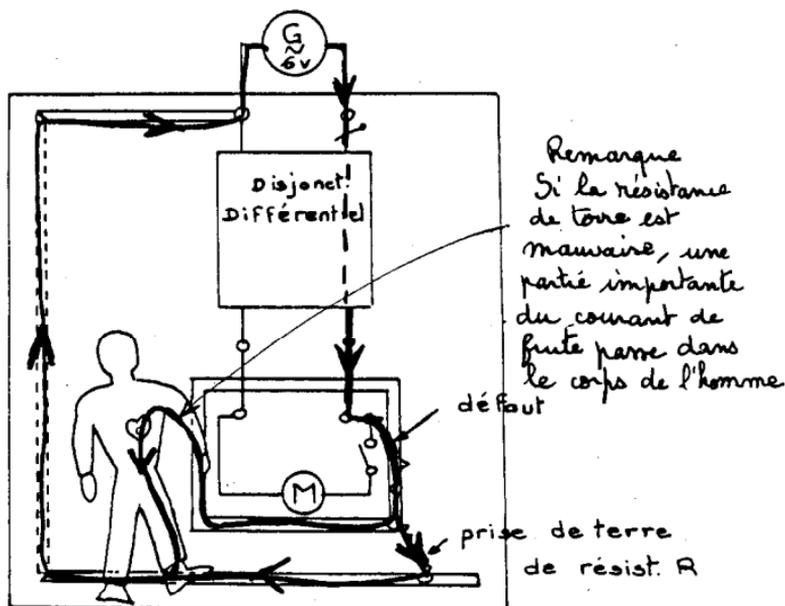
OBSERVATIONS :

La LED s'allume, le moteur tourne.

CONCLUSION :

Si le courant de fuite est grand, il y a danger pour la vie de l'homme.

III. Mise à la terre de l'installation :



— dessine en rouge sur ce schéma, le trajet du courant de fuite.

2 solutions :

a) la résistance de la prise de terre est grande ($R > 37 \Omega$),
— recommence les 2 expériences précédentes.

1) le courant de fuite est faible.

OBSERVATIONS :

La LED ne s'allume pas, le moteur tourne.

2) le courant de fuite est grand.

OBSERVATIONS :

La LED S'ALLUME, le moteur tourne.

b) la résistance de la prise de terre est faible ($R < 37 \Omega$),
— recommence les 2 expériences précédentes.

1) le courant de fuite est faible (cas du tournevis testeur).

OBSERVATIONS :

Le moteur tourne, la LED ne s'allume pas.

2) le courant de fuite est grand.

OBSERVATIONS :

Le disjoncteur ouvre le circuit, dès l'apparition du défaut. Il faut supprimer celui-ci pour utiliser à nouveau l'installation.

CONCLUSION :

Pour protéger les hommes, il faut :

- une bonne prise de terre,
- un disjoncteur différentiel,
- relier les appareils métalliques à la terre.

En complément de l'étude expérimentale, la brochure Promotelec « L'électricité chez vous en toute sécurité » a été distribuée aux élèves avec un questionnaire (voir en Annexe 2 le questionnaire pour la classe de 4^e avec les réponses. Pour la classe de 6^e, ce questionnaire ne comprend que les questions 1 - 2 - 3 - 9 - 10 - 11 - 14 - 15 - 16 et 19).

Ce travail de recherche est à faire à la maison, et à remettre 2 ou 3 semaines plus tard (à l'initiative du professeur), il a pour but :

- de voir et réinvestir dans une autre situation les connaissances acquises en cours ;
- de montrer que toute intervention même très simple, sur une installation électrique peut présenter un danger ;

- de prouver que l'on peut commettre, par innocence ou ignorance, des imprudences dont les conséquences peuvent être très graves ;
- de corriger des idées fausses ;
- de s'interroger sur la qualité et la sécurité de l'installation électrique familiale ; tous les ans, des élèves y découvrent des anomalies ;
- d'attirer leur attention sur tous les problèmes de sécurité, d'éveiller leur curiosité, leur méfiance.

L'association Promotelec, auprès de laquelle on peut se procurer gratuitement cette brochure en de nombreux exemplaires, est sans but lucratif et regroupe :

- Les organisations professionnelles de la construction électrique.
- Les organisations professionnelles d'installateurs électriciens.
- Electricité de France.

« Ses objectifs sont une meilleure qualité et une plus grande sécurité des installations électriques.

Au service de l'intérêt général, son action est bénévole et ne revêt aucun caractère commercial » (*extrait de la revue*).

Son adresse :

PROMOTELEC,
52, boulevard Malesherbes, 75008 Paris.

Je terminerai cet article qui est le résultat de plusieurs années de travail et de constatations en disant que nos élèves prennent du plaisir à manipuler et à réaliser des circuits électriques et électroniques, leur intérêt va sans cesse croissant. Dans leur famille, de plus en plus on modifie, on répare, on réalise des installations électriques souvent au détriment des règles de sécurité. Il faut donc éveiller nos élèves à ce problème, en leur donnant des habitudes, en leur apprenant à ne pas faire n'importe quoi, à respecter les normes en vigueur, à être des citoyens avertis et responsables.

Je remercie Monsieur VOGEL pour l'aide qu'il m'a apportée à la rédaction de cet article, et les collègues de mon établissement : Mesdames BASARA et BOURRIOT qui, par leurs remarques m'ont aidé, à la mise au point, et à l'utilisation pédagogique de cette maquette.

ANNEXE 1

CALCULS DES ELEMENTS DE LA MAQUETTE

(les grandeurs U, I, I_f, E sont des grandeurs efficaces)

1) Résistance de protection de la LED.

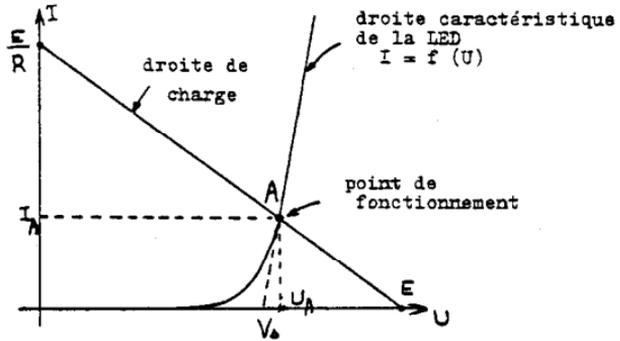
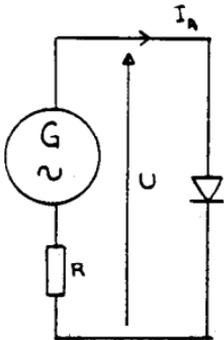
a) ORDRE DE GRANDEUR :

Le courant dans une LED doit être inférieur à 20 mA environ pour éviter le claquage de celle-ci. Un courant de 10 mA semble être une bonne valeur. Un courant inférieur à 5 mA ne produit pas un bon éclairage de la diode, donc :

$R = \frac{U}{I}$	U : tension du générateur utilisé, I : 10 mA.
-------------------	--

Exemple : pour un générateur 6 V, $R = \frac{6}{10 \times 10^{-3}} = 600 \Omega$.

b) CALCUL PLUS RIGoureux (on néglige la résistance interne de la diode $r \approx 10 \Omega \ r \ll R$).



$R = \frac{E - U_A}{I_A} \approx \frac{E - V_s}{I_A}$

- E : tension efficace aux bornes du générateur utilisé,
- R : résistance de protection de la LED,
- V_s : tension de seuil de la LED.
- V_s 1,5 V.

$$R = \frac{E - U_A}{I_A} \simeq \frac{E - V_s}{I_A}.$$

Exemple : pour un générateur de 6 V, si on veut un courant de 10 mA :

$$R = \frac{6 - 1,5}{10 \times 10^{-3}} = 450 \Omega.$$

Remarque :

Comme l'intensité du courant a été choisie arbitrairement entre 5 et 20 mA et que cette valeur, dans ces limites, n'a aucune incidence notable sur le fonctionnement de la maquette, la valeur de la résistance de protection pour un générateur de 6 V devra être :

$$220 \Omega < R < 900 \Omega,$$

prenons $R = 450 \Omega$,

$$\begin{aligned} \text{avec une puissance dissipable } P &= R I^2, \\ &= 450 \times (20 \times 10^{-3})^2, \\ &= 0,18 \text{ W}; \end{aligned}$$

donc, résistance de protection : $R = 450 \Omega$,

$$P = 1/4 \text{ W},$$

max.

2) Valeur du courant de fuite qui déclenche le disjoncteur différentiel ; mesure.

La valeur du courant de fuite I_f qui déclenche juste le fonctionnement nous est imposée par le disjoncteur (caractéristique qui dépend de la conception et la fabrication de l'appareil).

Pour en avoir testé un grand nombre, le courant de fuite qui assure le déclenchement de l'appareil est toujours inférieur à celui annoncé sur le disjoncteur par le constructeur. (Ce qui augmente encore la sécurité). Plaçons-nous dans le cas le plus défavorable, le courant est égal à celui annoncé.

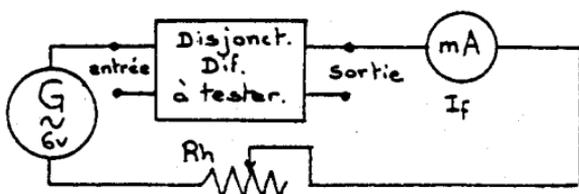
Deux types d'appareils :

le disjoncteur différentiel ordinaire : $I_f \simeq 500 \text{ mA}$
parfois 650 mA,

le disjoncteur différentiel haute sensibilité : $I_f \simeq 30 \text{ mA}$.

Comment mesurer la valeur réelle du courant de fuite qui assure le déclenchement de l'appareil ? Cette valeur permet de faire des calculs plus précis si on le souhaite.

Montage :



R_h : Rhéostat 400 Ω mini
1 A mini.

— Mettre le rhéostat au maxi (plus de 400 Ω pour un générateur de 6 V); un courant de fuite faible circule :

$$I_f = \frac{E}{R_h} = \frac{6}{400} = 12 \times 10^{-3} \text{ A} = 12 \text{ mA}$$

ce qui est inférieur au courant de fuite des plus sensibles disjoncteurs.

— Diminuer progressivement la valeur R_h et noter la valeur de I_f qui assure le déclenchement (valeur inférieure en principe à celle annoncée par le constructeur).

On peut vérifier que cette valeur ne dépend pas de la tension d'utilisation.

3) Résistances de terre.

a) BONNE PRISE DE TERRE.

Dans la réalité, le potentiel des masses métalliques ne doit pas dépasser 24 V par rapport à la terre.

Sur la maquette, le potentiel des masses ne devra pas dépasser la tension seuil de la diode soit V_s (pour une LED : $V_s = 1,5 \text{ V}$).

Calculons dans ce cas, la résistance R_T qui simulera sur la maquette une bonne résistance de terre :

$$R_T \times I_f < V_s$$

R_T = résistance de la terre,

I_f = courant de fuite,

V_s = tension de seuil de la LED.

Exemples :

— avec le disjoncteur différentiel ordinaire :

$$I_f = 500 \text{ mA} \quad V_s = 1,5 \text{ V}$$

donc :

$$R_T < \frac{V_s}{I_f} \qquad R_T < \frac{1,5}{500 \times 10^{-3}} \qquad R_T < 3 \Omega$$

avec une puissance dissipable :

$$\begin{aligned} P &= R I^2 \\ &= 3 \times 0,5^2 = 0,75 \text{ W} \\ &\text{donc } 3/4 \text{ W;} \end{aligned}$$

— avec le disjoncteur différentiel haute sensibilité :

$$I_f = 30 \text{ mA} \qquad V_s = 1,5 \text{ V}$$

donc :

$$R_T < \frac{1,5}{30 \times 10^{-3}} \qquad R_T < 50 \Omega$$

avec une puissance dissipable :

$$\begin{aligned} P &= R I^2 \\ &= 50 \times (30 \times 10^{-3})^2 \\ &= 0,0015 \text{ W donc } 1/4 \text{ W.} \end{aligned}$$

b) MAUVAISE PRISE DE TERRE.

Dans la réalité, si la prise de terre est mauvaise, le potentiel V_M des masses peut dépasser 24 V et devenir dangereux au toucher sans que le disjoncteur différentiel ne se déclenche. Ceci se produit si R_T (mauvaise) :

$$\frac{24}{I_f}$$

(48 Ω pour le disjoncteur différentiel ordinaire),
(800 Ω pour le disjoncteur différentiel haute sensibilité).

Pour simuler cela sur la maquette, il faut que $V_M > V_s$ et le disjoncteur différentiel ne doit pas déclencher ; le circuit de diode électroluminescente avec sa résistance de protection ($R = 600 \Omega$) permet alors de visualiser le risque d'électrocution encouru (la diode s'éclaire si l'on réalise la simulation du contact : main, carcasse de machine). Pour que le disjoncteur différentiel ne se déclenche pas, il faut que l'intensité du courant de défaut (I_d) reste inférieure à l'intensité du courant de fuite qui provoquerait ce déclenchement (I_f).

$$\text{Donc :} \qquad I_d < I_f.$$

On peut choisir un courant de défaut de quelques mA (6 mA par exemple) ; on a alors, en cas de défaut franc ($V_M = E$) :

$$R_T \text{ mauvaise} = \frac{E}{I_d} = \frac{E}{6 \times 10^{-3}}.$$

Exemple :

— pour un générateur de 6 V :

$$R_T \text{ (en } \Omega) = \frac{6}{6 \times 10^{-3}} \quad R_T = 10^3 \Omega.$$

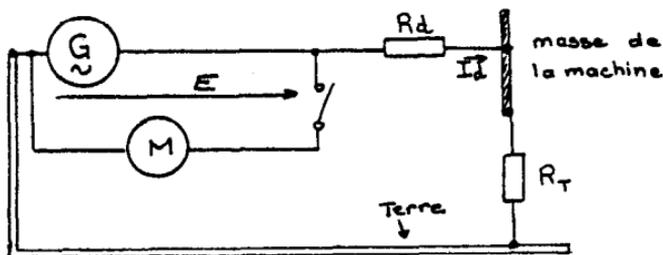
Sur la maquette, le disfonctionnement lié à l'existence d'une « mauvaise terre » peut être simulé par une résistance de terre de 1 k Ω par exemple.

4) Résistances pour le courant de défaut calculées dans le cas d'une bonne terre.

a) DÉFAUT FRANC dans ce cas $I_d > I_f$ et le disjoncteur différentiel déclenchera, assurant la sécurité :

Sur la maquette :

$$E = (R_d + R_T) I_d$$



$$R_d = \frac{E - R_T I_d}{I_d}.$$

Exemple : $E = 6$ V si la bonne résistance de terre est 5,6 Ω et $I_f = 30$ mA ; on peut choisir $I_d > 30$ mA, par exemple $I_d = 100$ mA (ne pas choisir de courant trop grand à cause des échauffements :

$$R_d = \frac{6 - 5,6 \times 0,1}{0,1} = 55 \Omega \quad R_d = 55 \Omega.$$

b) DÉFAUT FAIBLE dans ce cas $I_d < I_f$, le disjoncteur différentiel n'ouvrira pas le circuit, mais la carcasse ne sera pas nécessairement à un potentiel dangereux.

Sur la maquette, le potentiel des masses doit être inférieur à V_s et la diode ne s'allumera donc pas.

$$\left(\begin{array}{l} V_s > R_T \cdot I_d \quad \text{si on choisit} \quad R_T \cdot I_d \simeq 0 \text{ V} \\ \text{donc :} \\ E = (R_d + R_T) I_d \quad E = R_d \cdot I_d \end{array} \right.$$

avec I_d très très faible par exemple 0,1 mA :

$$R_d = \frac{E}{I_d} \quad \text{par exemple} \quad E = 6 \text{ V} \quad I_d = 0,1 \text{ mA}$$

$$\text{donc : } R_d = \frac{6}{0,1 \times 10^{-3}} = 60 \times 10^3 \Omega,$$

$$R_d = 60 \text{ k}\Omega.$$

Rappels :

- pour un disjoncteur différentiel 30 mA et un générateur de 6 V,
 - bonne prise de terre $R_T < 50 \Omega$ 1/4 W,
 - mauvaise prise de terre $R_T = 1\,000 \Omega$ 1/4 W,
 - défaut important : $R_d \simeq 55 \Omega$ 1/2 W,
 - défaut faible : : $R_d = 60 \text{ k}\Omega$ 1/4 W ;
- pour un disjoncteur différentiel 500 ou 650 mA et un générateur de 6 V,
 - bonne prise de terre $R_T < 3 \Omega$ 3/4 W,
 - mauvaise prise de terre $R_T = 1\,000 \Omega$ 1/4 W,
 - défaut important : $R_d < 8 \Omega$ 2 W ; un fil ($R = 0 \Omega$) peut convenir,
 - défaut faible : : $R_d = 60 \text{ k}\Omega$ 1/4 W.

ANNEXE 2CLASSE DE 4^e :**REGLES DE SECURITE ELECTRIQUE**

Réponds aux questions suivantes à l'aide de tes connaissances et de la brochure PROMOTELEC « l'électricité chez vous en toute sécurité ».

- 1 — Quels sont les 12 conseils de sécurité donnés dans cette brochure ?
- 2 — A partir de quelle tension, le courant électrique est-il dangereux ?
- 3 — Quelles sont les conséquences de l'eau ou de la sueur sur le corps humain ?
- 4 — Comment peut-on reconnaître le fil de phase du fil de neutre ?
- 5 — Un contact avec le fil de neutre est-il dangereux ?
- 6 — Pourquoi faut-il toujours placer un interrupteur sur le fil de phase ?
- 7 — Peut-on utiliser une canalisation d'eau ou de chauffage comme prise de terre ?
- 8 — Quels risques cela comporte-t-il ?
- 9 — Quels sont les appareils électriques qui doivent être reliés à une prise de terre ? Donne des exemples.
- 10 — Qu'est-ce qu'un appareil de classe II ? Comment peut-on le reconnaître ? Donne des exemples d'appareils de ce type.
- 11 — Peut-on utiliser des appareils électriques de classe II, en prenant un bain ?
- 12 — Qu'appelle-t-on volume de protection dans une salle d'eau ?
- 13 — Qu'appelle-t-on liaison équipotentielle ?
- 14 — Classe les sols suivants en 2 catégories, et propose un titre pour chaque :
carrelage, moquette, parquet, ciment, dalles plastiques, terre battue.
- 15 — Quelles précautions faut-il prendre pour éviter les contacts électriques aux très jeunes enfants ?
- 16 — Que doit-on faire si l'on est en présence d'une personne électrocutée ? (personne qui touche un fil de phase).

- 17 — Quelles sont les conséquences du passage du courant dans le corps humain ? Renseigne-toi auprès de ton professeur de biologie.
- 18 — Lors d'un contact simultané et accidentel entre phase et neutre, y a-t-il un courant de fuite ?
- 19 — Un disjoncteur différentiel et une bonne prise de terre protègent-ils de l'électrocution dans le cas précédent ?
- 20 — A la fin de tes réponses, recopie et apprends le texte encadré de rouge page 9.

REGLES DE SECURITE ELECTRIQUE : réponses.

1) Les 12 conseils :

- Coupez le courant avec le disjoncteur général avant toute intervention sur votre installation électrique.
- Ne déplombez jamais votre disjoncteur et ne touchez pas aux fils d'arrivée.
- N'utilisez pas d'appareils électriques, même le téléphone, les mains mouillées ou les pieds dans l'eau.
- Ne tirez pas sur un fil pour débrancher un appareil.
- Débranchez toujours vos appareils avant de les nettoyer.
- Ne remplacez pas un fil fondu par un fusible plus gros, une épingle à cheveux...
- Evitez les rallonges.
- N'utilisez pas de fiches multiples.
- Pas de douilles métalliques dans tous les locaux humides ou à sol conducteur.
- Repérez les canalisations électriques encastrées avant de percer un mur ou un plafond.
- Pas de jouets électriques qui se branchent directement sur une prise.
- Ne déplacez pas une pièce métallique de grande longueur (échelle, mât, tuyau, antenne...) à proximité d'une ligne électrique aérienne.

- 2) Le courant est dangereux à partir de la tension de 25 V.
- 3) L'eau, la sueur rendent le corps humain bien meilleur conducteur de l'électricité.
- 4) La couleur de fils est un jeu dangereux. Dans une installation domestique, la terre est un fil bicolore (vert jaune), le neutre

bleu, les autres peuvent être des fils de phase ; le seul moyen efficace de reconnaître le fil de phase des autres conducteurs est le tournevis testeur. Cet appareil devrait être dans toutes les familles. Il est peu onéreux (moins de 10 F dans tous les supermarchés).

- 5) Un contact avec le fil de neutre ne peut pas être dangereux, car son potentiel est obligatoirement à moins de 24 V. Il est intéressant à ce moment de la correction de mesurer la tension entre phase et terre, puis neutre et terre. (Utiliser un voltmètre digital pour montrer que la tension du neutre n'est pas égale à zéro, mais en est tout proche).
- 6) On doit placer un interrupteur sur le fil de phase pour des questions de sécurité.



Ces 2 installations sont identiques sur le plan du fonctionnement, mais dans le montage II les fils *a* et *b* sont dangereux, même l'interrupteur ouvert, et il y a risque d'électrocution lors du remplacement de la lampe. Alors que dans le montage I, le changement de la lampe ne présente pas de risque.

- 7) On peut utiliser comme prise de terre une canalisation d'eau ou de chauffage à 3 conditions :
 - installer avant le compteur général d'eau, côté abonné, une portion de tube isolant d'au moins deux mètres de long ;
 - s'assurer qu'aucun élément isolant (tuyau, raccord plastique...) n'interrompt la continuité électrique de la conduite d'eau ;
 - signaler par une plaque placée près du compteur d'eau, que la conduite d'eau est utilisée comme conducteur de terre.

Il faut toutefois relier la colonne montante d'eau à une prise de terre réalisée dans le sous-sol de l'immeuble.

- 8) La mise à la terre d'appareil électrique sur une canalisation d'eau non reliée à une prise de terre peut, en cas de défaut, électrocuter les voisins (voir le fait divers de l'électrocution dans la baignoire à La Rochelle, janvier 1988).

- 9) Tous les appareils comportant une partie métallique doivent être reliés à la terre (cafetière électrique, machine à laver le linge, la vaisselle, four...).
- 10) Un appareil de classe II est un appareil à double isolation, on peut le reconnaître grâce au double carré  (rasoir, perceuse, mixeur, sèche-cheveux...).
- 11) Il est interdit d'utiliser un appareil de classe II en prenant un bain ou une douche : ils ne sont pas étanches.
- 12) Le volume de protection est la zone qui est à moins de 1 m de la baignoire ou du bac à douche, sur une hauteur de 2.25 m. Dans cette zone, les appareils utilisés doivent être de classe II et avoir une protection contre l'eau reconnaissable au signe  ou .
- 13) La liaison équipotentielle est une liaison électrique qui doit être réalisée dans la salle d'eau entre tous les éléments conducteurs (corps métalliques des appareils sanitaires, canalisations métalliques d'eau froide et chaude, de vidange, de chauffage, de gaz, etc.) et reliée à la prise de terre.
- 14) sols conducteurs : ciment, carrelage, terre battue,
sols isolants : parquet, moquette, dalles plastiques.
- 15) Pour éviter les contacts électriques aux jeunes enfants, prévoir des prises à éclipses, cache-prises, fiches à broches protégées ; pas de jouets se branchant sur le 220 V, etc.).
- 16) En présence d'une personne électrocutée :
 - a) couper le courant le plus vite possible ;
 - b) **SURTOUT NE PAS LA TOUCHER** ;
 - c) *bousculer violemment* la personne avec un objet isolant comme une chaise en bois, pour interrompre le passage du courant. Il vaut mieux la blesser que la laisser mourir ;
 - d) appeler un médecin ou les pompiers.
- 17) Voir document du Docteur M. DRILLE, et l'article de la revue du praticien.
- 18) Il n'y a pas de courant de fuite si la personne est isolée du sol (moquette, parquet...).
- 19) S'il n'y a pas de courant de fuite, le disjoncteur n'interrompt pas le passage du courant ; c'est l'électrocution à plus ou moins long terme, si personne n'intervient.
- 20) Voir la brochure.