

A propos du disjoncteur différentiel

par Madeleine MESMIN,
C.R.F.P.E.G.C. Paris.

Le disjoncteur différentiel figure à nouveau au programme de Quatrième. Toutefois les commentaires précisent :

« 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. »

Mais, par ailleurs, le programme comporte les rubriques :

- phase et neutre,
- prise de terre,
- règles de sécurité,
- protection des personnes : terre, disjoncteur différentiel,
- distribution de l'énergie électrique.

Enfin, les commentaires relatifs à d'autres rubriques indiquent :

« Faire acquérir quelques connaissances qualitatives essentielles relatives au phénomène de l'induction électromagnétique. »

« Le rôle d'un circuit magnétique, couplant les parties inductrice et induite du montage sera mis en évidence. »

L'article tente de concilier tous ces impératifs. Le niveau adopté est un compromis entre une présentation didactique et un rappel d'informations dont le professeur jugera lui-même s'il doit les fournir à ses élèves, suivant le niveau de sa classe.

PRESENTATION.

Le disjoncteur différentiel est un dispositif dont le rôle est triple :

- 1) coupure du courant par un déclencheur temporisé, dans le cas d'une intensité supérieure à l'intensité I_r fixée lors du réglage du disjoncteur. Cette coupure ne doit pas être instantanée, la surintensité pouvant être due à un régime transitoire ;

- 2) coupure du courant par un déclencheur rapide, en cas d'intensité très forte par rapport à I_r (court-circuit);
- 3) coupure du courant par un déclencheur différentiel, dans le cas d'un courant, dit de défaut, circulant entre la masse d'un appareil et la terre, lors d'une liaison accidentelle entre un conducteur sous tension et la masse de l'appareil.

C'est cette dernière fonction qui permet de prévenir les dangers d'électrisation par contacts de l'utilisateur avec le sol et avec une masse portée accidentellement à un potentiel dangereux, à la suite d'un défaut d'isolement. La coupure automatique du circuit d'alimentation d'une installation présentant un défaut d'isolement sur un appareil électrique a lieu sous certaines conditions que nous allons préciser.

Il faut remarquer toutefois que ce dispositif ne protège pas les personnes qui touchent directement le fil de phase; ce cas ne sera pas traité ici.

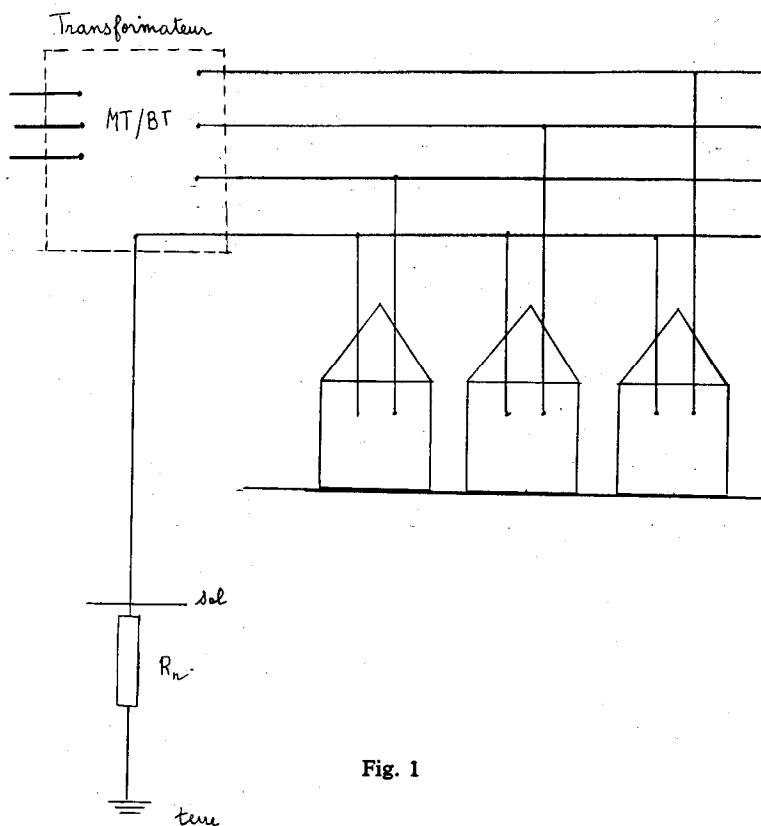


Fig. 1

LE RESEAU DE DISTRIBUTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE (fig. 1).

On sait que le transport de l'énergie électrique se fait en triphasé, sous haute tension et que sa distribution s'effectue également en triphasé, sous moyenne tension et basse tension. C'est de cette dernière qu'il s'agit dans l'article.

Souvent, l'alimentation de chaque usager se fait en monophasé. Pour des raisons de simplification, c'est cet exemple que nous présentons. Dans ce cas, deux conducteurs : un conducteur de phase et le conducteur de neutre, relie l'installation au réseau.

Pour diverses raisons, le neutre est relié au sol par E.D.F. Cette liaison est effectuée au moyen d'un conducteur ; on dit que le neutre est mis à la terre. On nomme « terre » une région du sol dont le potentiel reste constant quelles que soient les perturbations électriques qui se produisent alentour. On attribue arbitrairement la valeur zéro au potentiel de la « terre ». La mise à la terre du neutre en fixe ainsi le potentiel à la valeur zéro, en régime normal.

La résistance de terre du neutre.

On nomme ainsi la résistance de contact du conducteur de liaison du neutre avec le sol. La résistance de terre du neutre, représentée sur le schéma par R_n , est en général de quelques ohms ; nous adopterons la valeur de 5Ω pour les calculs ultérieurs.

ELECTRISATION DITE PAR LE SOL (fig. 2).

Du fait de la liaison terre-neutre, une personne qui touche de la main une masse conductrice accidentellement sous tension et dont les pieds sont sur le sol, est presque instantanément traversée par un courant dont l'intensité peut être dangereuse. On parle en général d'électrisation, le terme d'électrocution étant réservé à ceux des accidents qui entraînent la mort immédiate de la victime.

La résistance du corps humain.

La résistance propre du corps humain entre une main et les pieds varie, entre autres, avec la tension appliquée. A cette résistance, il faut ajouter les résistances de contact avec la masse conductrice sous tension et avec le sol. On prend, dans le cas d'une alimentation en 220 V, une valeur moyenne de $2\,500 \Omega$ qui correspond à des conditions médiocres d'isolement.

Par ailleurs, pour que le seuil dangereux de quantité d'électricité ne soit pas atteint, la durée de passage du courant dans le corps humain doit être d'autant plus brève que l'intensité est plus forte. L'intensité maximale admissible, sans danger d'élec-

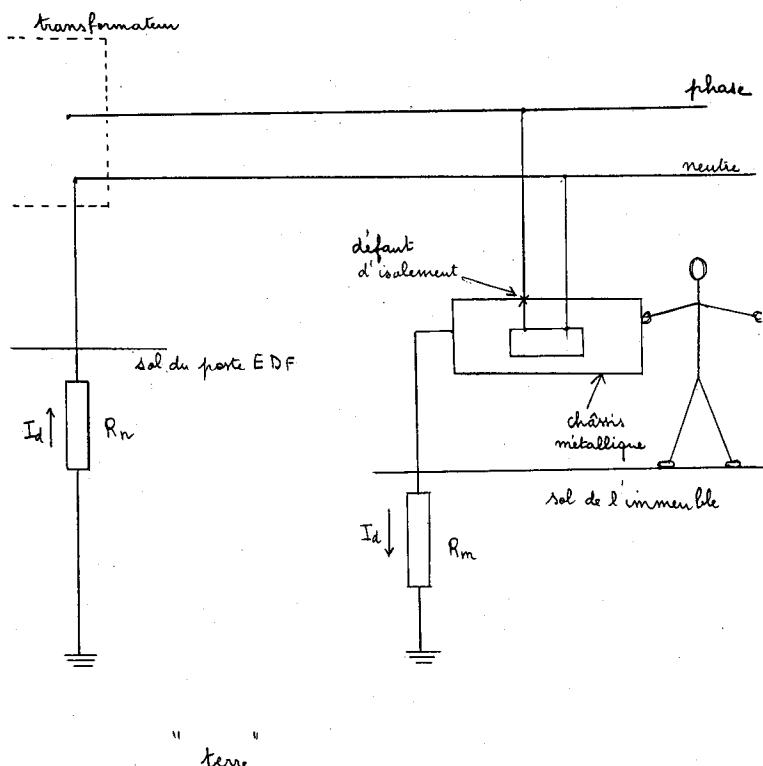


Fig. 2

trocution, est de 10 mA, pour une durée pouvant dépasser 30 secondes. On remarque que cela correspond à une tension appliquée de 25 V.

On sait que la valeur normalisée de sécurité est de 24 V.

La mise à la terre d'un appareil électrique.

Elle consiste à relier le châssis métallique de l'appareil (ou masse) à la terre, par exemple, par un piquet conducteur enfoncé profondément dans le sol. On obtient ainsi « une prise de terre ». Sa résistance représentée sur le schéma par R_m est la résistance de contact entre le piquet et le sol. La valeur courante d'une bonne prise de terre est égale à 20 Ω ; c'est la valeur que nous adopterons dans les calculs ultérieurs.

La mise à la terre a pour effet d'abaisser la tension entre le châssis de l'appareil et la terre, dans le cas d'un défaut d'isolement, ainsi que nous allons le voir.

Essai d'interprétation des phénomènes.

Supposons un défaut d'isolement dans l'appareil (isolant d'un conducteur de phase défectueux) : le fil de phase est en contact avec le châssis, ce qui semble porter le potentiel du châssis à 220 V. A partir de l'établissement du défaut, un courant circule entre la phase et la terre.

Un courant (dit de défaut) d'intensité I_d circule alors dans la résistance de terre de l'immeuble et on constate (en le mesurant) qu'un courant de même intensité circule dans la résistance de terre du neutre. La tension entre le neutre et la terre n'est plus nulle ; elle vaut : $R_n \times I_d$.

De ce fait, la tension entre le châssis et la terre n'est pas 220 V mais :

$$220 \text{ V} - R_n \times I_d < 220 \text{ V}.$$

On obtient le même résultat en considérant que R_m et R_n sont reliées à la terre de potentiel zéro, donc sont en série et branchées entre phase et neutre. On a donc :

$$I_d = 220 / (R_n + R_m).$$

La tension U_d entre le châssis et la terre est alors :

$$U_d = R_m \times I_d = R_m \times 220 / (R_n + R_m) < 220 \text{ V}.$$

On voit que U_d est une fonction croissante de R_m et que pour abaisser sa valeur, il faut donner à R_m une valeur aussi faible que possible.

Dans l'exemple numérique choisi :

$$I_d = 220 / (5 + 20) = 8,8 \text{ A}$$

$$U_d = 20 \times 8,8 = 176 \text{ V}.$$

Cette intensité de 8,8 A n'est pas, le plus souvent, suffisante pour faire fondre les fusibles de protection ; le courant ne cesse de circuler entre le châssis et la terre, et la tension dangereuse de 176 V y reste appliquée.

Pour que la valeur de la tension entre châssis et terre soit de 25 V, il faudrait que la résistance de terre soit de l'ordre de 0,5 Ω .

On aurait alors :

$$220 / 5,5 = 40 \text{ A} \quad \text{et} \quad 0,5 \times 40 = 20 \text{ V}.$$

Or, il est matériellement impossible d'obtenir une valeur aussi faible pour une résistance de terre.

Dans ces conditions, on emploie un autre dispositif ; le disjoncteur différentiel qui utilise le courant de défaut pour commander la coupure du circuit et prévenir l'accident.

LA FONCTION DIFFERENTIELLE DU DISJONCTEUR (fig. 3).

A l'entrée du disjoncteur, les conducteurs de phase et de neutre sont bobinés sur un circuit magnétique comme l'indique

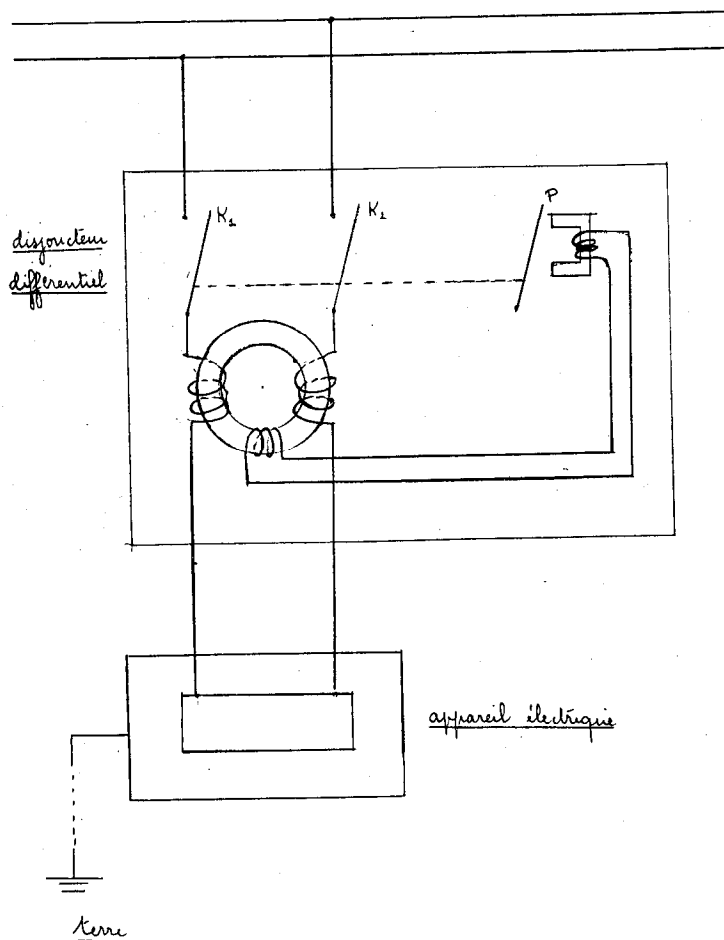


Fig. 3

le schéma (enroulements E_1 et E_2). Les interrupteurs K_1 et K_2 sont fermés, la plaquette P est verticale. Lorsque l'intensité a la même valeur dans les deux conducteurs, les champs magnétiques qu'ils créent dans la petite bobine E_3 sont opposés. La bobine E_3 n'est le siège d'aucune tension.

Quand le courant de phase est supérieur au courant de neutre, par suite de l'existence d'un courant de défaut, les champs magnétiques n'ont pas même norme dans la bobine E_3 ; celle-ci est alors le siège d'une tension induite (le champ étant alternatif, donc le flux variable). L'électro-aimant attire la plaquette P et, si le courant induit est assez intense, la force d'attraction permet la coupure de l'alimentation de l'installation. Il faut réarmer le disjoncteur, une fois le défaut supprimé, pour rétablir les contacts en K_1 et K_2 .

Le disjoncteur fonctionne donc à partir de la différence d'intensité entre phase et neutre ou intensité de défaut I_d comme signal de coupure. La valeur de I_d à partir de laquelle a lieu la disjonction est gravée sur son boîtier.

Pour les immeubles, on prend souvent $I_d = 650$ mA. Si on veut que la tension de défaut reste inférieure ou égale à 24 V, il faut que la résistance de la prise de terre soit :

$$R_m = 24/0,65 = 37 \, \Omega.$$

Comme il n'est pas toujours aisé d'atteindre cette valeur de résistance, on préfère utiliser actuellement des disjoncteurs 500 mA avec lesquels on peut se contenter d'une résistance de prise de terre de 48 Ω . Il existe aussi des disjoncteurs 300 mA et, même dans les installations à risques, des disjoncteurs à 30 mA.

Le disjoncteur différentiel pallie ainsi les insuffisances de la mise à la terre des masses métalliques, laisse l'installation alimentée tant que U_d reste inférieure à la tension de sécurité et coupe le circuit quand cette valeur est atteinte; son emploi concourt donc à la protection des personnes.

MANIPULATION ILLUSTRANT LE PRINCIPE DE L'APPAREIL (fig. 4).

On utilise une maquette. Le matériel comprend :

- un circuit magnétique,
- deux bobines 250 tours ou 1 000 tours (B_1 et B_2) de même sens d'enroulement,
- un générateur 12 V alternatif,
- deux rhéostats 30 Ω ,
- deux interrupteurs,

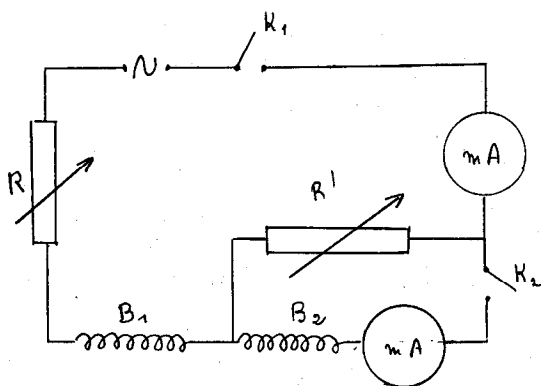


Schéma du montage électrique.

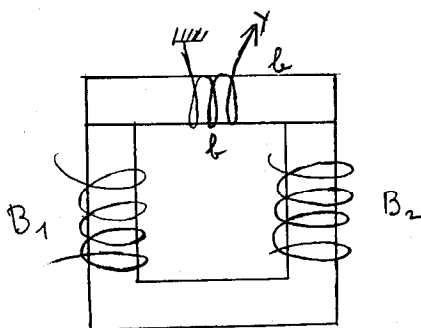


Schéma du circuit magnétique.

Fig. 4

- une bobine : cadre de carton avec fil émaillé, $d = 1 \text{ mm}$, $n = 100$ tours,
- un oscillographe électronique,
- deux milliampèremètres calibre 300 mA :
 - a) K_1 fermé et K_2 ouvert : pas de tension aux bornes de b ,
 - b) K_1 fermé et K_2 fermé : tension aux bornes de b visualisée à l'oscillographe (sa valeur de crête peut être ajustée grâce à R et R').

MANIPULATION ILLUSTRANT LA FONCTION DE L'APPAREIL (fig. 5).

On utilise un disjoncteur différentiel. Le matériel comprend :

- un disjoncteur 220 V, 500 mA,
- deux ampèremètres calibres 1,6 A,

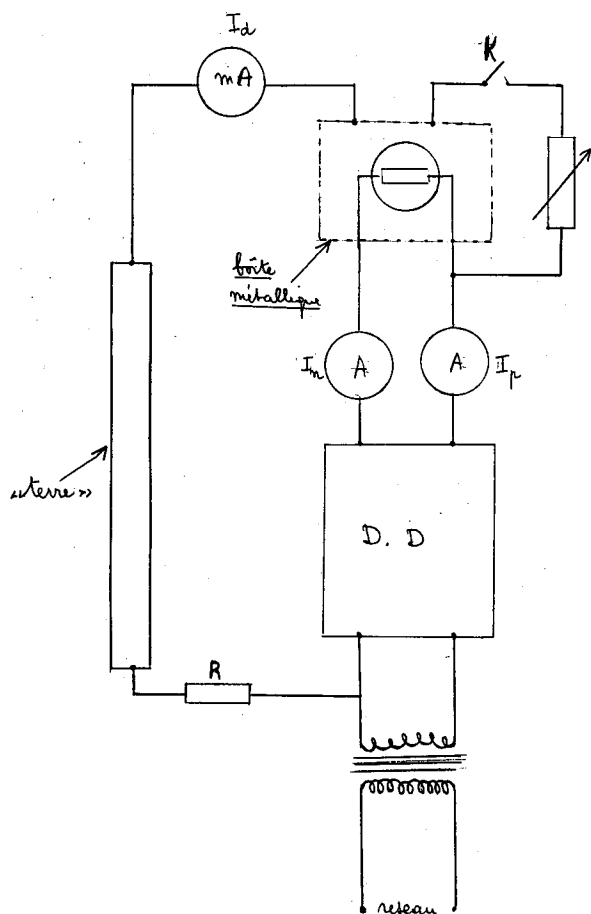


Fig. 5

- un milliampèremètre 500 mA,
- un rhéostat 230 Ω ,
- un transformateur (à enroulements séparés) 220 V - 24 V,
- une ampoule 24 V ; 25 W,
- une dizaine de fils de connexion,
- deux pinces crocodiles,
- une boîte métallique (sans contact électrique avec l'ampoule),

- un tube de cuivre $d = 1$ cm, $l = 70$ cm environ qui figure « la terre »,
- un interrupteur,
- une résistance R de 100Ω .

On alimente l'ampoule à travers le disjoncteur, K étant ouvert, le rhéostat étant au maximum de la valeur de sa résistance. Puis, on ferme K et on diminue progressivement la valeur de la résistance en service du rhéostat.

Pendant la manipulation, on observe les indications des trois ampèremètres. On vérifie la relation $I_p = I_n + I_d$ (I_p intensité du courant de phase).

Tant que I_d reste inférieure à 500 mA, l'ampoule brille. Quand cette valeur est atteinte, la disjonction a lieu et l'ampoule s'éteint.

Il faut réarmer le disjoncteur pour recommencer la manipulation.

BIBLIOGRAPHIE

- B.U.P. n° 519, novembre 1969.
 - B.U.P. n° 560, décembre 1973.
 - B.U.P. n° 609, décembre 1978.
 - B.U.P. n° 616, juillet, août, septembre 1979.
 - Livre du professeur (6^e), collection Libres Parcours, Edition Hachette.
 - Livre du professeur (4^e), collection Libres Parcours, Edition Hachette.
 - Guide de l'Ingénierie Electrique des Réseaux Internes d'Usines, Edition Technique et Documentation.
-