

LA PRISE DE TERRE

1 Introduction

La mise à la terre est un élément essentiel de la qualité et de la sécurité des installations électriques. Elle protège les personnes en cas de défaut d'isolement et atténue les effets des chocs de manœuvre et de foudre sur les matériels sensibles.

La mise à la terre est donc à prendre très au sérieux.

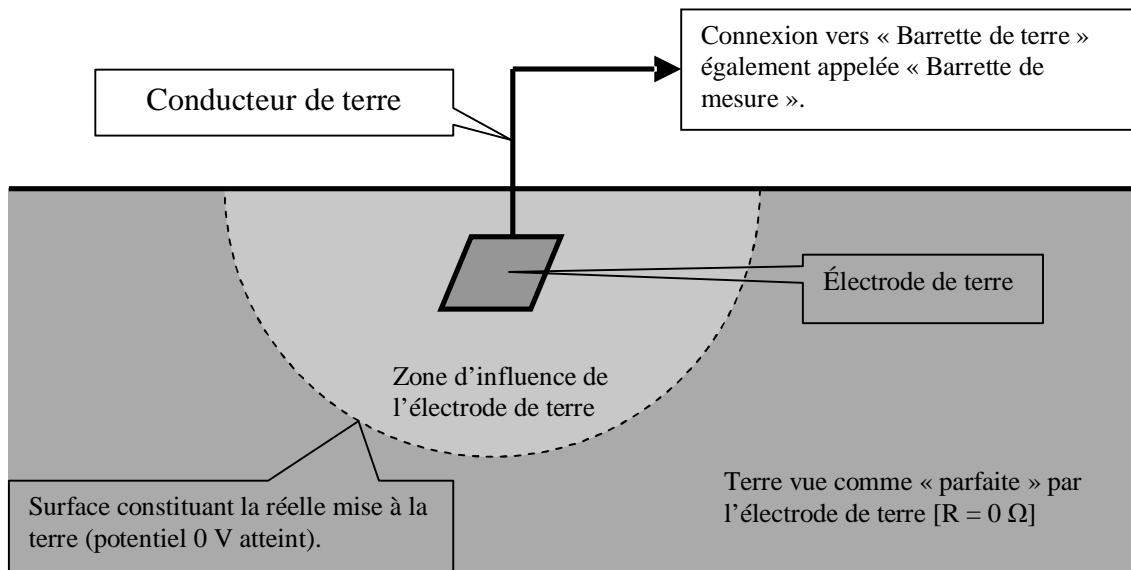
Deux éléments sont mis à la terre :

- Les masses métalliques ;
- Le point neutre de l'enroulement étoile des transformateurs lorsque ce point est sorti (cf. Schéma des liaisons à la terre)

2 Structure d'une Prise de Terre

Une prise de terre est un ensemble de plusieurs éléments liés :

- Un conducteur de terre qui établit la liaison entre l'électrode de terre et les éléments à mettre à la terre (masses métalliques ou neutre) ;
- Une fiche mâle constituée par l'élément métallique, appelé électrode de terre, que l'on place en terre et qui est connectée, par l'intermédiaire du conducteur de terre, à une barrette de terre couramment appelée barrette de mesure ;
- Une fiche femelle constituée par le volume de terre influencé par l'électrode de terre ;
- Le volume de terre extérieur à cette zone d'influence dont la valeur de la résistance tend vers 0



Une prise de terre étant constituée d'éléments conducteurs (l'électrode de terre et la terre) est caractérisée par sa résistance R_t . Comme pour toute résistance, la valeur de la résistance d'une prise de terre dépend :

- De la résistivité des différents composants (électrode de terre et sous-sol dans lequel est installée cette électrode) ;
- Des dimensions géométriques de l'électrode de terre et du volume de terre influencée par cette électrode.

La résistivité des composants :

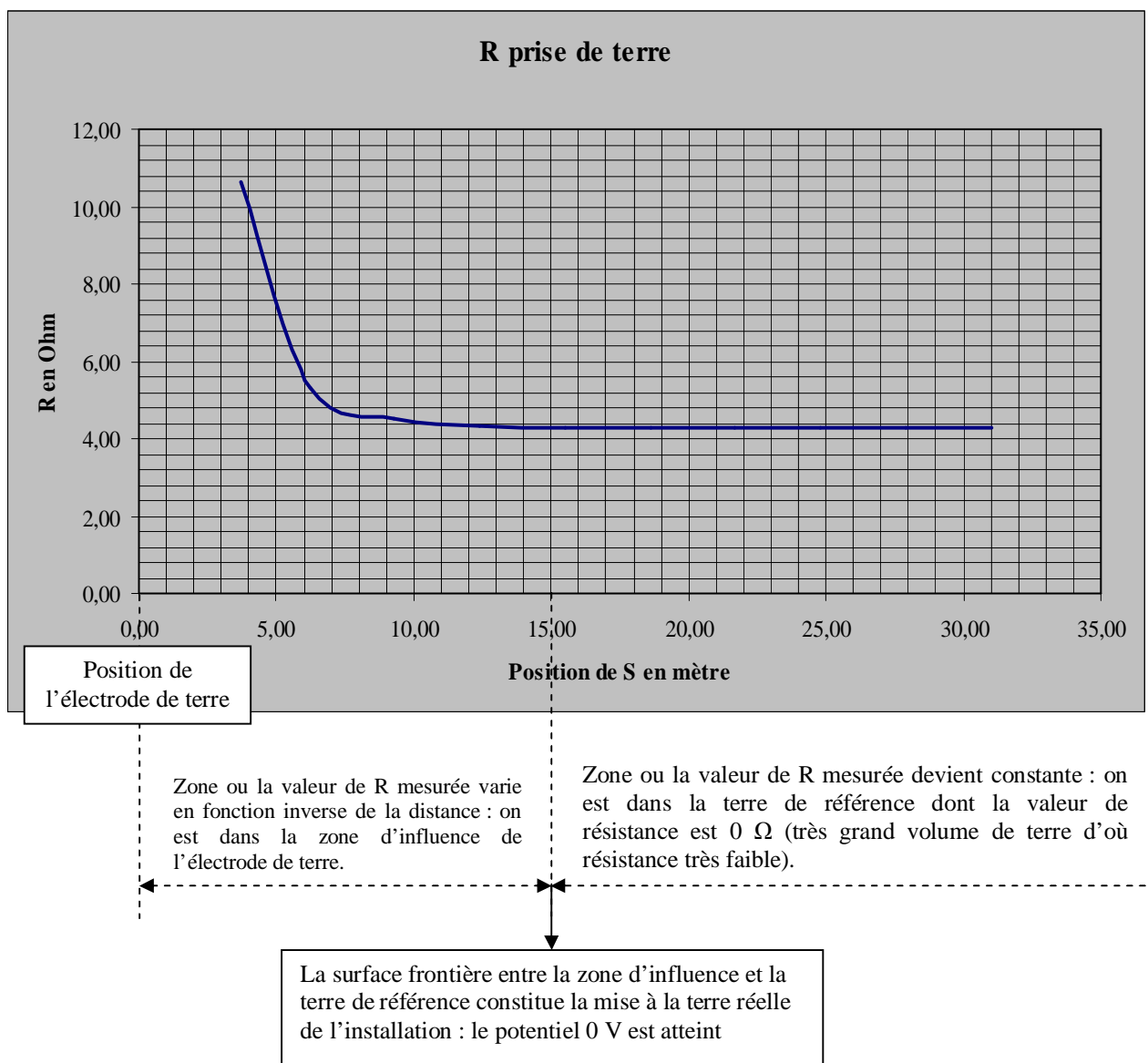
- Les composants à mettre à la terre sont des éléments métalliques donc des éléments de très faible résistivité : ordre de grandeur $2 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$ à $10^{-6} \Omega\text{m}$;

LA PRISE DE TERRE

- Par contre la résistivité du sous-sol est nettement plus élevée : de quelques Ωm pour les terrains les plus conducteurs à plus de 10 000 Ωm pour les terrains les moins conducteurs.
- D'autre part, la résistivité du sous-sol varie en fonction des conditions climatiques : elle peut être multipliée par 3 en cas de sécheresse ou de gel ou bien divisé par 3 en cas de terrain détrempe. Néanmoins au-delà d'une certaine profondeur la terre devient insensible aux variations climatiques. Cela permet de distinguer 2 grandes zones :
 - o Terre de surface : Couche superficielle de la terre sensible aux variations climatiques. Épaisseur : 2 m en BT ; 3 m en HTA.
 - o Terre profonde : Zone où la terre devient insensible aux variations climatiques. Profondeur à partir de : 2 m en BT ; 3 m en HTA.

Les dimensions géométriques de l'électrode de terre dépendent de la forme adoptée pour la prise de terre (boucle à fond de fouille, piquet, serpentins, grille, cylindre, etc.) ; les dimensions géométriques et la forme exacte du volume de terre influencée par l'électrode de terre ne sont pas connues (en terrain homogène, la forme est celle d'une demi-sphère dont le rayon est à peu près 15m).

La prise de terre étant caractérisée par une résistance, on peut en mesurer la valeur :



Le graphe ci-dessus a été établi à partir de mesures faites au CERGE, le 1^{er} décembre 2000, sur la prise de terre Rt3 (piquet de 5m en acier cuivré) dont la valeur à cette date était 4,28 Ω .

LA PRISE DE TERRE

3 La protection des personnes

La norme impose :

- L'interconnexion des masses métalliques : on élimine ainsi la tension de contact entre 2 masses simultanément accessibles ;
- La mise à la terre des masses métalliques : on élimine la tension de contact entre masses et terre ;
- L'élimination du défaut par un dispositif différentiel : la protection des personnes est assurée en cas de rupture d'une connexion (masse / masse ou masse / terre).

Nota : la protection des personnes par mise à la terre des masses métalliques n'est efficace qu'associée à un dispositif de protection différentielle (disjoncteur ou interrupteur). De même, en l'absence de mise à la terre des masses métalliques, un dispositif différentiel n'est pas opérationnel.

En Basse tension, la norme NF C 15-100 impose :

- Sensibilité du différentiel, $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$;
- Tension limite de sécurité : $U_L = 50 \text{ V}$ (locaux secs), 25 V (locaux humides) et 12 V (locaux mouillés) ; la protection des personnes doit être assurée dans tous les cas ;
- La valeur maximale de la résistance de prise de terre des masses des locaux : 100Ω ; ce qui garantit le déclenchement des appareils de protection différentielle dans tous les cas ($I_d \gg I_{\Delta n}$) ;
- La protection différentielle se fait au plus près des zones et des circuits à protéger en contrôlant les courants absorbés par les récepteurs ($\Sigma I = 0$).

En Haute tension :

- On réduit le niveau de surtension en fixant le potentiel du neutre par rapport à la terre (mise à la terre directe du neutre en HTB 225 ou 400 kV - neutre avec impédance de limitation en HTA et HTB 63kV) ;
- Compte tenu des tensions et des distances mises en jeu dans les réseaux HT, l'effet capacitif des câbles n'est plus négligeable : existence d'un courant de charge I_c de l'âme des câbles par rapport à la terre. La valeur I_c de ce courant dépend du type de réseau ($I_c = 3 \sqrt{V C \omega}$ - avec V tension simple du réseau) :
 - o réseaux aériens : $I_c = 0,05 \text{ A / km}$;
 - o réseaux souterrains : $I_c = 1 \text{ à } 5 \text{ A / km}$ (dépend des caractéristiques des câbles utilisés).
- Il est donc illusoire de protéger les personnes par la protection différentielle classique de sensibilité 30 mA. Les valeurs des courants de défaut I_d retenues résultent d'un compromis :
 - o Le courant I_d doit avoir une valeur suffisamment élevée pour être détecté et permettre un déclenchement rapide des protections tout en respectant les règles suivantes :
 - § $I_d \geq 2 I_c$ (limitation du niveau des surtensions transitoires) ;
 - § $I_d < 0,25 I_{cc}$ triphasé max (limitation de la montée en potentiel des masses métalliques).
 - o Cela conduit aux valeurs de courant suivantes :
 - § réseaux aériens : $I_d = 300 \text{ A}$;
 - § réseaux souterrains : $I_d = 1000 \text{ A}$;
 - § réseaux industriels : $I_d = 20 \text{ A à } 50 \text{ A}$ pendant 1 seconde (on évite la destruction des circuits magnétiques).
- En tenant compte des valeurs retenues pour l'intensité des courants de défaut, si l'on veut garantir la tension limite de sécurité de 50 V il faudrait installer une prise de terre dont la valeur serait $0,16 \Omega$ pour un courant de défaut de 300 A ; Cette valeur très faible de la résistance est extrêmement difficile à réaliser donc très coûteuse.
- On opte donc pour des valeurs de résistance facile à réaliser, l'objectif étant de minimiser au maximum la montée en potentiel des masses métalliques. La réglementation fixe, suivant l'ouvrage, la valeur maximum de la résistance de chaque prise de terre (cf. tableau « Matériels des réseaux de distribution » page suivante).

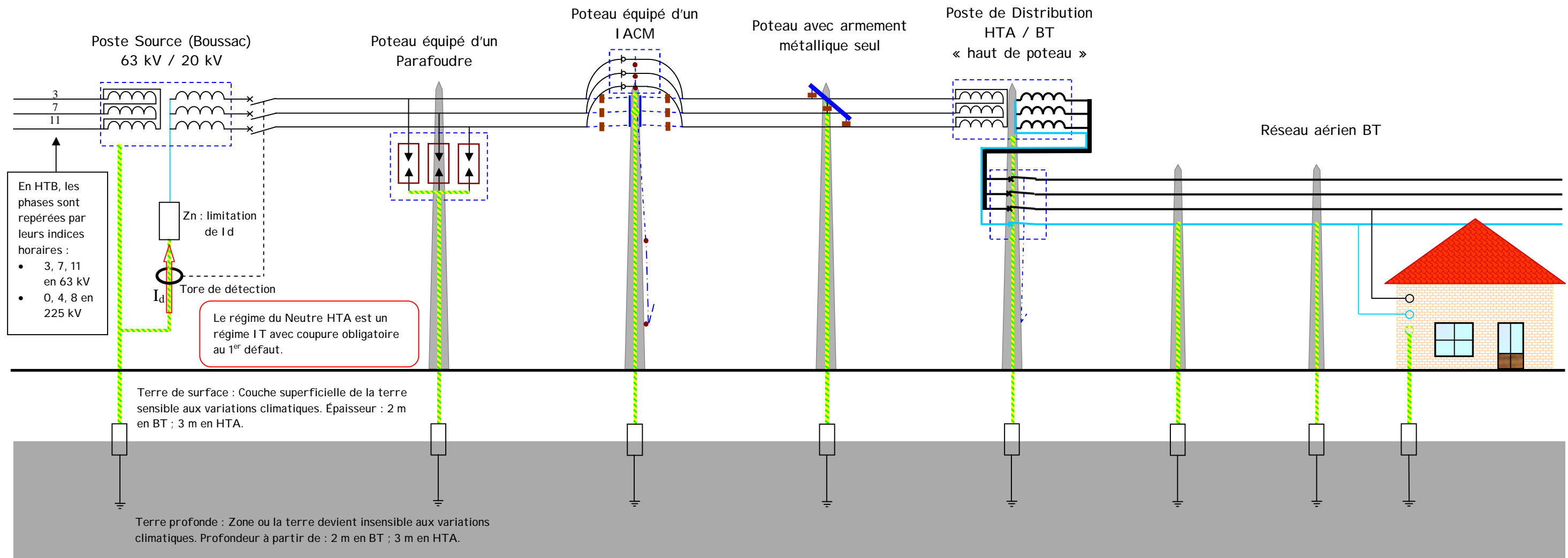
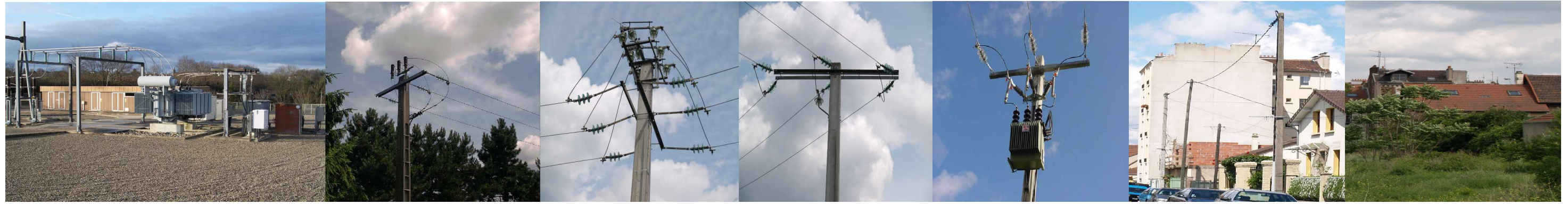
LA PRISE DE TERRE

| MATÉRIELS DES RÉSEAUX DE DISTRIBUTION | | | | |
|--|--------------------|--------------------------------|---|---|
| Nature | Valeur maxi | Périodicité de contrôle | Observations | Notes |
| Terre des masses | | | | |
| Poste HTB / HTA | 1 Ω | annuelle | Vérification seulement de la continuité des conducteurs de protection et des liaisons équipotentielles | Cette périodicité peut être ajustée jusqu'à la limite des 10 ans réglementaires |
| Réseaux aériens HTA | | | | |
| – Appareil de coupure en ligne : IACM, IAT, éclateurs, parafoudres | 30 Ω | 10 ans | | IACM : Interrupteur Aérien à Commande Manuelle IAT : Interrupteur Aérien Télécommandé |
| – Écrans des câbles aériens, armement, supports métalliques | 100 Ω | 10 ans | | |
| Poste HTA / HTA | 30 Ω | 10 ans | | |
| Autotransformateurs (terre du parafoudre sur le neutre) | 30 Ω | 10 ans | Interconnectée avec la terre des parafoudres des RAS | RAS : Raccordement Aéro-Souterrain |
| Poste HTA / BT : | | | | |
| – Neutre HTA mis à la terre par impédance limitant à 150 A ou 300 A le courant de défaut | 30 Ω | 10 ans | Terre des masses et terre du neutre BT séparées | 1) impédances des terres : on admet que les terres des masses sont électriquement indépendantes si leur coefficient de couplage est < 15 %. 2) interconnexions des terres : au niveau du poste HTA / BT, la terre des masses et la terre du neutre peuvent être interconnectée si la terre des masses est $\leq 1 \Omega$ 3) pour des postes HTA / BT situés en zone urbaine : on ne vérifie que la continuité des conducteurs de protection et des liaisons équipotentielles car la mesure de la prise de terre n'est pas possible. |
| – Neutre HTA mis à la terre par impédance limitant à 1000 A le courant de défaut | 10 Ω | 10 ans | | |
| Raccordement aéro-souterrain HTA | 30 Ω | 10 ans | | |
| Terre du Neutre BT | Valeur globale | | | |
| – Neutre HTA mis à la terre par impédance limitant à 150 A ou 300 A le courant de défaut | 15 Ω | 10 ans | Il est recommandé que la valeur de la résistance de chaque prise de terre individuelle soit < 50 Ω | |
| – Neutre HTA mis à la terre par impédance limitant à 1000 A le courant de défaut | 5 Ω | 10 ans | | |

D'après Document Forsond « Guide Pratique des Prises de Terre - § Valeurs des Prises de terre »

LA PRISE DE TERRE

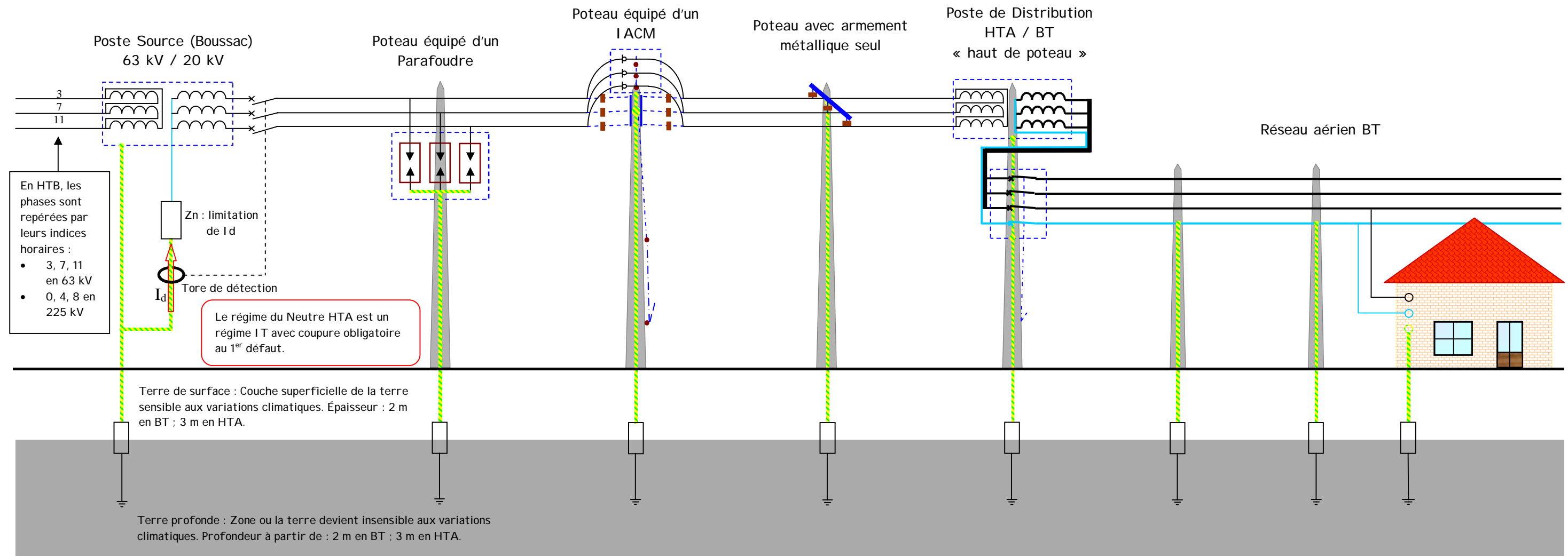
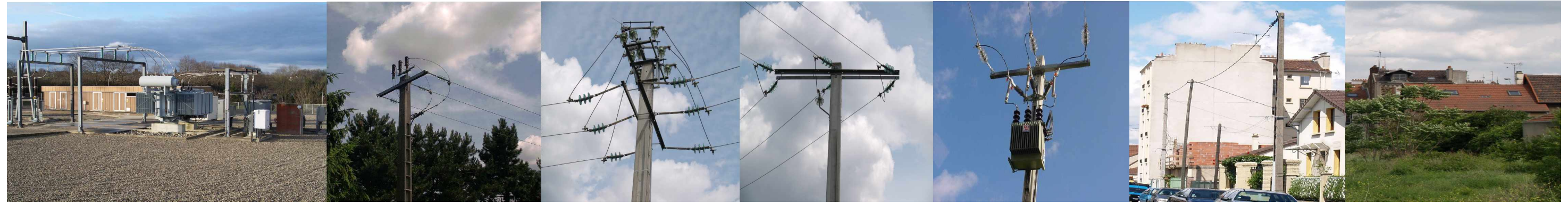
A l'aide du document « Matériels des Réseaux de Distribution » complétez le tableau ci-dessous



| | Poste Source Poste HTB / HTA | Poteau équipé d'un Parafoudre | Poteau équipé d'un I ACM | Poteau avec armement métallique seul | Poste de Distribution HTA / BT Réseaux aériens | 1 ^{ère} Terre du Neutre BT | 2 ^{ème} Terre du Neutre BT | Terre des masses Client |
|-------------------------|---|-------------------------------|--------------------------|---|--|--|--|-------------------------|
| Rt max | | | | | | Valeur globale max : | | |
| Périodicité de contrôle | | | | | | | | |
| Remarques | La zone grisée correspond aux ouvrages du groupe EDF SA (Production, Transport (RTE) et distribution) | | | | | | | |

LA PRISE DE TERRE

Document corrigé



| | Poste Source Poste HTB / HTA | Poteau équipé d'un Parafoudre | Poteau équipé d'un IACM | Poteau avec armement métallique seul | Poste de Distribution HTA / BT Réseaux aériens | 1 ^{ère} Terre du Neutre BT | 2 ^{ème} Terre du Neutre BT | Terre des masses Client |
|---|---------------------------------|---|-------------------------|---|--|--|--|---|
| Rt max | 1 Ω | 30 Ω | 30 Ω | 100 Ω | 30 Ω | 30 Ω | 30 Ω | 100 Ω |
| | | | | | | Valeur globale max : 15 Ω | | |
| Périodicité de contrôle | 1 an | 10 ans | 10 ans | 10 ans | 10 ans | 10 ans | 10 ans | aucune |
| Remarques | Périodicité ajustable à 10 ans | Lorsqu'un support (poteau, pylône) est équipé d'au moins un appareil, la prise de terre des masses Rt est inférieure ou égale à 30 Ω ; elle est inférieure ou égale à 100 Ω dans le cas contraire | | | | La valeur de chaque prise de terre du neutre ne doit pas dépasser 50 Ω | | Cette valeur n'est contrôlée qu'une seule fois par le CONSUEL |
| La zone grisée correspond aux ouvrages du groupe EDF SA (Production, Transport (RTE) et distribution) | | | | | | | | |

LA PRISE DE TERRE

4 Influence d'un défaut HTA affectant la prise de terre des masses du poste HTA / BT

4-1 Boucle de défaut :

Lors d'un défaut d'isolement phase-terre affectant un ouvrage HTA, un courant de défaut I_d traverse la prise de terre des masses de l'ouvrage et est injecté dans le sol par cette prise. Ce courant est ensuite drainé par la prise de terre du neutre du poste source concerné et retourne ainsi à la source qui lui a donné naissance.

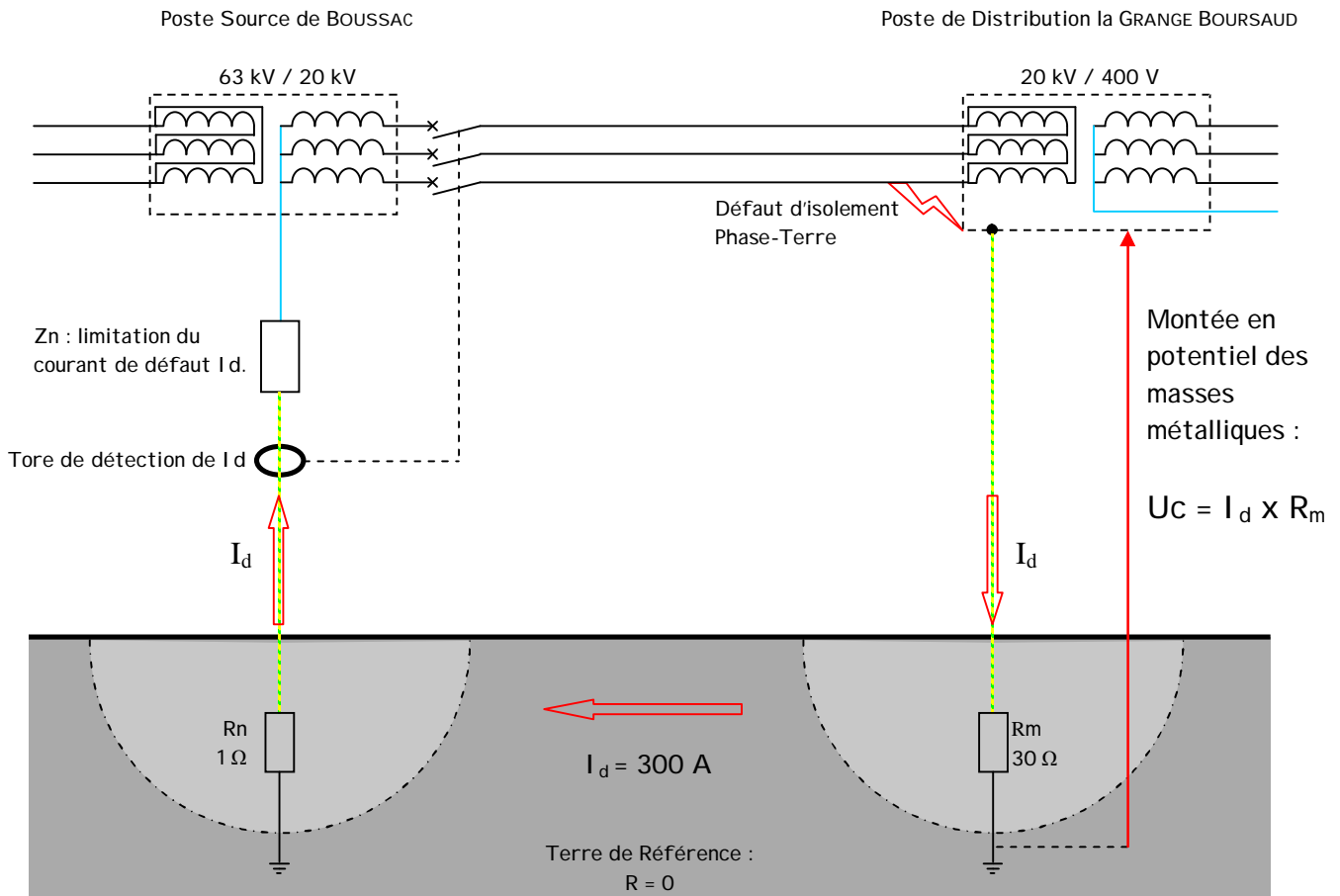
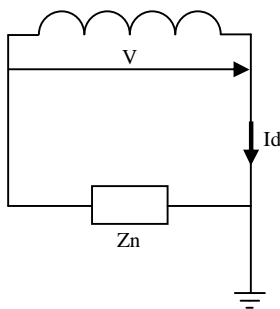


Schéma équivalent vu du poste source :



- Vue du poste source, les prises de terre des masses R_m , des ouvrages HTA, sont noyées dans la terre de référence de la prise de terre du neutre R_n du poste. En conséquence, le poste source ne « voit » pas ces prises de terre ;
- Compte tenu des distances séparant la prise de terre du neutre R_n et les prises de terre des masses R_m , la résistance équivalente de l'ensemble « prise de terre R_n , terre de référence et prise de terre R_m » tend vers 0 Ω , d'où le schéma équivalent ci-contre ;
- L'impédance Z_n limite la valeur du courant de défaut I_d , aux valeurs suivantes : 300 A (réseau aérien) - 1000 A (réseau souterrain) - 20 A max (réseaux industriels) - en l'absence de Z_n , $I_d > 12 \text{ kA}$;
- Nature de l'impédance Z_n : résistance pure ou inductance ;
- La tension phase / neutre V du réseau est : $V = U / \sqrt{3} = 20 / \sqrt{3} = 11\,547 \text{ V}$ - $V \approx 12 \text{ kV}$

LA PRISE DE TERRE

Remarques :

- À l'apparition du défaut, la tension de contact U_c est égal à V , tension simple du réseau triphasé 20 kV soit $U_c = 12$ kV ;
- Pendant l'écoulement du courant de défaut I_d , à travers la résistance de la prise de terre des masses R_m du poste de distribution, la tension de contact U_c est égale à :

$$U_c = R_m \times I_d \quad \text{soit} \quad 30 \times 300 = 9 \text{ kV}$$

[Pour un réseau aérien ($I_d = 300$ A) et pour un poste de distribution HTA / BT ($R_m \leq 30 \Omega$)]

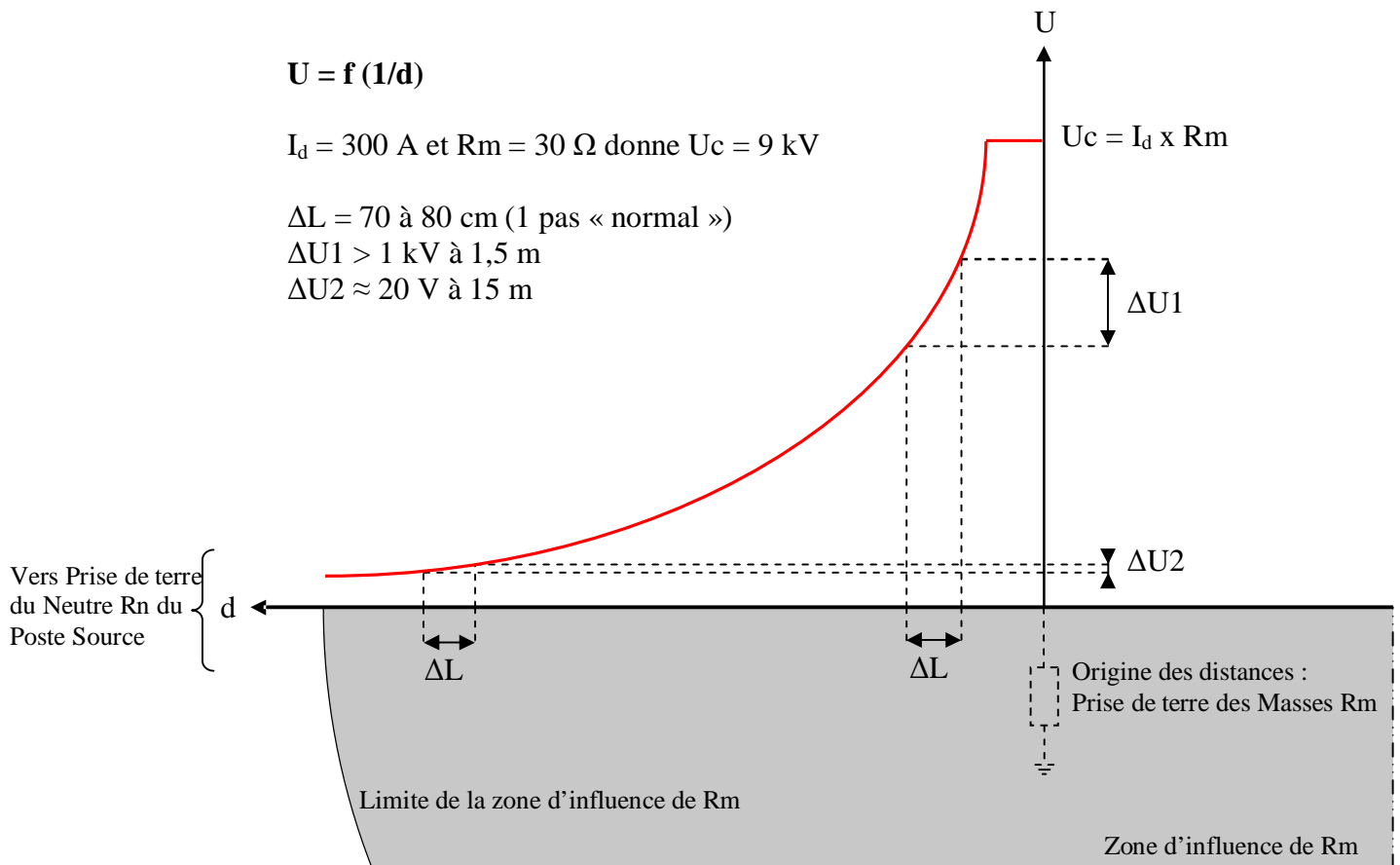
- Ces tensions sont dangereuses, en conséquence la loi impose la coupure obligatoire au premier défaut ;
- Ces tensions dangereuses imposent le port des EPI adaptés à la tension du réseau sur lequel on intervient (gants isolants, tabouret ou tapis isolant) ;
- Le régime du neutre HTA est un régime IT mais avec coupure obligatoire au premier défaut ;
- Pour minimiser la valeur de la tension U_c , il faut réduire la valeur R_m de la prise de terre des masses.



LA PRISE DE TERRE

4-2 Tension de pas :

La circulation d'un courant de défaut I_d , dans la prise de terre R_m , d'une part et dans le sol, d'autre part, engendre à la surface du sol une répartition de la tension dont les lignes équipotentielles sont des cercles concentriques ayant pour centre l'électrode de terre de la prise de terre concernée par ce courant de défaut. En prenant comme axe privilégié, l'axe « prise de terre des masses R_m - prise de terre du neutre R_n », on obtient le graphe $U = f(1/d)$ suivant :



Remarques :

- La zone d'influence de la prise de terre à sensiblement 15 m de rayon (cette valeur dépend de la résistivité du sol, des valeurs de la tension U_c et du courant de défaut I_d) ;
- On peut définir 3 zones particulières sur le graphe ci-dessus :
 - o Une zone équipotentielle de rayon sensiblement égal à 50 cm (cette valeur dépend des caractéristiques géométriques de l'électrode de terre) et pour laquelle la tension est égale à U_c ;
 - o Une zone où U décroît rapidement sur une longueur sensiblement égale à la moitié du rayon de la zone d'influence ;
 - o Une zone où U décroît plus lentement sur le reste de la zone d'influence.
- Dans la zone de décroissance rapide, une tension dangereuse $\Delta U_1 > 1 \text{ kV}$ existe entre deux points éloignés de la distance d'un pas ($\Delta L = 70 \text{ à } 80 \text{ cm}$) ; Cette tension ΔU_1 est appelée tension de pas ;
- Dans la zone à décroissance lente, la tension de pas ΔU_2 entre 2 points éloignés de la distance ΔL est sensiblement égale à 20 V, donc non dangereuse ;

LA PRISE DE TERRE

- On se protège de cette « tension de pas » :
 - o En obligeant le courant de défaut à entrer profondément dans le sol : boucle à fond de fouille, serpentín, étoile, piquet dont le premier mètre est isolé de la terre par un tube isolant ;
 - o En utilisant tapis ou tabouret isolant adaptés à la tension du réseau sur lequel on intervient.
- Évítions la psychose : cette tension de pas n'apparaít que pendant le temps d'existence du défaut soit le temps nécessaire au déclenchement du disjoncteur de protection de la ligne HTA (200 ms max.).

4-3 Prise de terre sauvage :

En cas de rupture d'un câble aérien, une prise de terre superficielle est réalisée. La majorité des lignes de courant passent au niveau du sol.

La dispersion des courants dans le sol dépend de la nature des terrains. Dans un sol hétérogène, des différences de potentiel dangereuses peuvent s'établir entre deux points voisins.

Environ 20 000 animaux sont tués, chaque année en France, à la suite de circulation de courants dans le sol. Ce sont principalement des courants dus aux impacts de foudre.

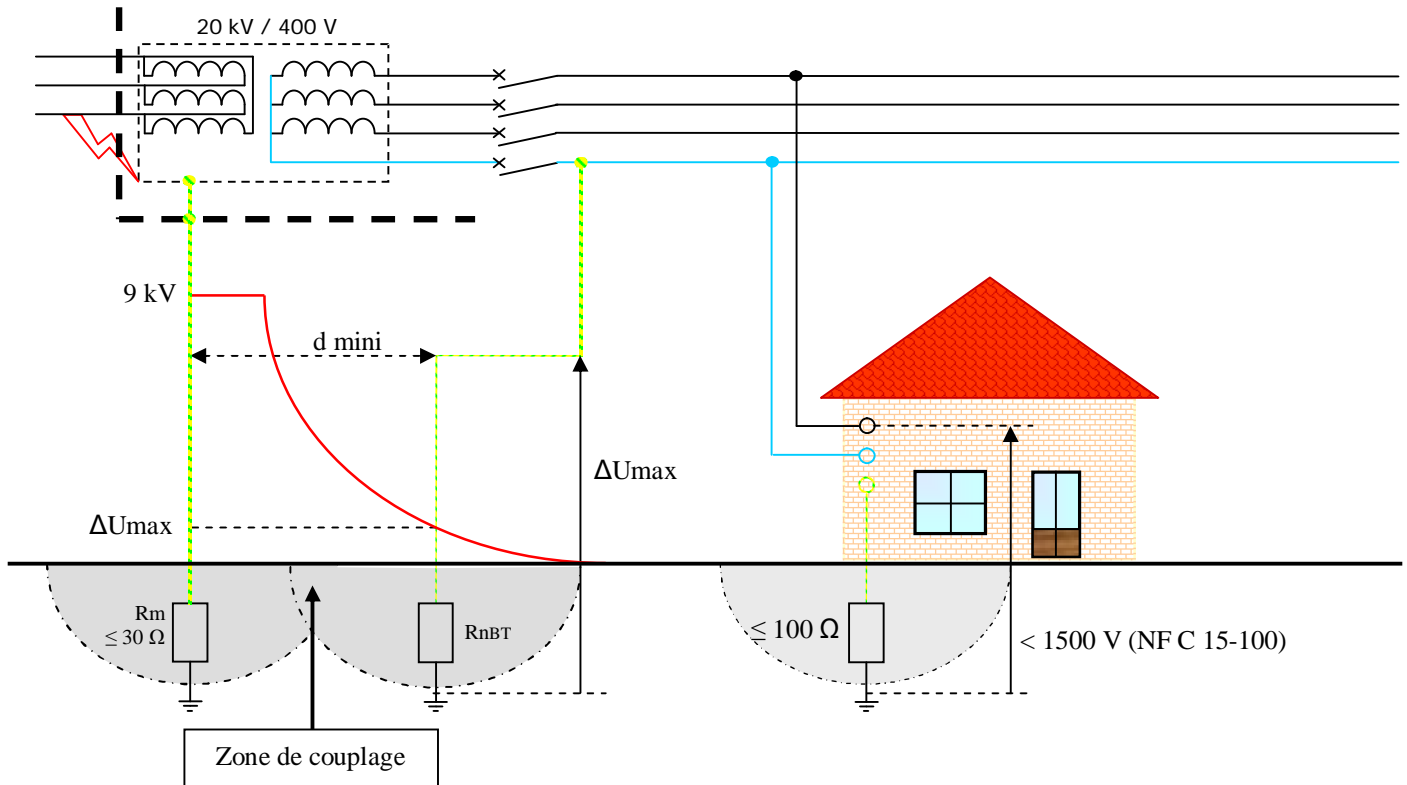
Ceux-ci peuvent engendrer une différence de potentiel de 500V entre les pattes, espacées d'un mètre, d'un animal à plus de 100 m de l'impact.

LA PRISE DE TERRE

5 Influence d'un défaut HTA sur la BT

La circulation d'un courant de défaut I_d , dans la prise de terre des masses R_m du poste de distribution peut influencer le réseau BT par couplage entre prises de terre (prise de terre du neutre BT R_{nBT} et prise de terre des masses HTA R_m du poste) entraînant une montée en potentiel du neutre du réseau BT (cf. schéma ci-dessous).

Poste de Distribution la GRANGE BOURSAUD



Remarques :

La montée en potentiel du neutre BT entraîne :

- la montée en potentiel de l'ensemble du réseau BT par rapport à la terre ; d'où risque de surtension ;
- l'apparition de contraintes au niveau de l'isolation des conducteurs de phase et du neutre par rapport à la masse des appareils.

La norme NF C 15-100 recommande que le niveau de surtension reste inférieur à 1500 V ; ce qui revient à limiter la montée de potentiel ΔU_{max} du neutre à :

- $U_{PH/N} = V = 400 / \sqrt{3} = 230 \text{ V}$
- $\Delta U_{max} < 1500 - 230 = 1270 \text{ V} \Rightarrow \Delta U_{max} = 1200 \text{ V}$

Cette tension ΔU_{max} est obtenue en implantant la prise de terre du neutre BT à une distance d_{mini} de la prise de terre des masses du poste HTA / BT ; cette distance dépend de la résistivité ρ du sol et de la valeur du courant de défaut I_d :

| Distances minimales à respecter entre prises de terre des ouvrages EDF / RTE | | | | |
|--|---------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| Résistivité du sol | $\leq 300 \Omega m$ | $\leq 500 \Omega m$ | $\leq 1000 \Omega m$ | $> 1000 \Omega m$ |
| Distance d_{mini} pour $I_d = 300 \text{ A}$ | 8 m | 16 m | 24 m | À étudier cas par cas |
| Ces distances sont à multiplier par 3 pour $I_d = 1000 \text{ A}$ | | | | |

LA PRISE DE TERRE

Caractéristiques des Prises de Terre

| Nature de l'électrode de terre | Valeur de la résistance obtenue | Valeur de l'impédance obtenue | Avantages | Inconvénients |
|--------------------------------|---|--|---|---|
| Acier cuivré | Faible | Faible | <ul style="list-style-type: none"> • valeur de la résistance de prise de terre faible ; • Adapté au courant de type foudre ou à très hautes fréquences ; • Solution la plus universelle, permettant au courant de défaut d'atteindre rapidement les couches conductrices du sous-sol. • Favorise : <ul style="list-style-type: none"> ○ La conduction électrique ; ○ Les conditions de fonçage | <ul style="list-style-type: none"> • Prix élevé ; • Corrosion lente, nécessite une vérification périodique de la valeur de la prise de terre, surtout en terrain légèrement acide ou basique. |
| Acier galvanisé | Moyenne : ≈ 2 fois celle de l'acier cuivré. | Moyenne | <ul style="list-style-type: none"> • solution économique | <ul style="list-style-type: none"> • corrosion galvanique, nécessite une vérification périodique de la valeur de la prise de terre. |
| Acier inoxydable | Élevée : ≈ 3 fois celle de l'acier cuivré | Élevée : <ul style="list-style-type: none"> • ≈ 9 fois celle de l'acier cuivré pour des courants de défaut de type industriel à 50 Hz ; • ≈ 32 celle de l'acier cuivré pour des courants de type foudre ou à très hautes fréquences. | <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation : <ul style="list-style-type: none"> ○ en terrain fortement acide ou basique ; ○ lorsque la couche conductrice du sous-sol est à faible profondeur ; ○ lorsque l'on craint une corrosion de structure métallique très proche de l'électrode de terre et non reliée à celle-là. • Valeur stable de la résistance de la prise de terre. | <ul style="list-style-type: none"> • Prix élevé ; • Inadapté aux courants de type foudre ou à très hautes fréquences. |

| Type de la Prise de terre | Utilisation | Remarques |
|-----------------------------------|--|--|
| Prises de terre profondes | <ul style="list-style-type: none"> • Lorsque l'écoulement des courants de défauts à 50 Hz est prioritaire ; • Les valeurs de terre sont : faibles, stables, insensibles aux variations climatiques ; • Permettent d'atteindre, en général, la valeur de résistance que l'on s'est fixé, même en ne disposant que d'information partielle sur la résistivité du sol ; • Augmentent les chances d'atteindre les couches telluriques de faibles résistivités. | <ul style="list-style-type: none"> • Lorsque la résistivité superficielle des sols est élevée, ou mal connue, la mesure de résistance des prises à des étapes successives d'enfoncement, permet d'ajuster au mieux cette valeur et la profondeur de pénétration ; • Forme de l'électrode de terre : le piquet allongeable ou auto-allongeable ; • Nature de l'électrode de terre : acier cuivré, acier galvanisé, acier inoxydable. |
| Prises de terre de surface | <ul style="list-style-type: none"> • Amélioration d'une terre existante ; • Sols difficiles, profils accidentés pour lesquels l'utilisation d'une prise de terre profonde nécessiterait d'importants moyens mécanisés, donc chers ; • Contraintes liées à la méconnaissance des sols ; • Contraintes dues aux surtensions atmosphériques (exemple : neutre des réseaux aériens en zone foudroyée). | |