

Union internationale des télécommunications

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

K.68

(02/2006)

SÉRIE K: PROTECTION CONTRE LES
PERTURBATIONS

**Gestion des perturbations électromagnétiques
induites par les systèmes électriques dans les
systèmes de télécommunication**

Recommandation UIT-T K.68

Recommandation UIT-T K.68

Gestion des perturbations électromagnétiques induites par les systèmes électriques dans les systèmes de télécommunication

Résumé

La présente Recommandation traite de la gestion des perturbations électromagnétiques (e.m.) induites par les systèmes de distribution électrique et de traction électrique sur les systèmes de télécommunication.

La présente Recommandation définit la procédure à suivre pour évaluer l'acceptabilité d'une perturbation électromagnétique et indique:

- les critères de définition des situations de perturbation à examiner;
- les tensions de gestion des perturbations à appliquer;
- les conditions d'installation des systèmes de distribution électrique, de traction électrique et de télécommunication, dans lesquelles les tensions de gestion sont applicables.

Source

La Recommandation UIT-T K.68 a été approuvée le 13 février 2006 par la Commission d'études 5 (2005-2008) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

Mots clés

Bruit, danger, dommage, dysfonctionnement, endurance, gêne, immunité, perturbation de la fréquence industrielle, sécurité.

AVANT-PROPOS

L'UIT (Union internationale des télécommunications) est une institution spécialisée des Nations Unies dans le domaine des télécommunications. L'UIT-T (Secteur de la normalisation des télécommunications) est un organe permanent de l'UIT. Il est chargé de l'étude des questions techniques, d'exploitation et de tarification, et émet à ce sujet des Recommandations en vue de la normalisation des télécommunications à l'échelle mondiale.

L'Assemblée mondiale de normalisation des télécommunications (AMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'étude à traiter par les Commissions d'études de l'UIT-T, lesquelles élaborent en retour des Recommandations sur ces thèmes.

L'approbation des Recommandations par les Membres de l'UIT-T s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

Dans certains secteurs des technologies de l'information qui correspondent à la sphère de compétence de l'UIT-T, les normes nécessaires se préparent en collaboration avec l'ISO et la CEI.

NOTE

Dans la présente Recommandation, l'expression "Administration" est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue.

Le respect de cette Recommandation se fait à titre volontaire. Cependant, il se peut que la Recommandation contienne certaines dispositions obligatoires (pour assurer, par exemple, l'interopérabilité et l'applicabilité) et considère que la Recommandation est respectée lorsque toutes ces dispositions sont observées. Le futur d'obligation et les autres moyens d'expression de l'obligation comme le verbe "devoir" ainsi que leurs formes négatives servent à énoncer des prescriptions. L'utilisation de ces formes ne signifie pas qu'il est obligatoire de respecter la Recommandation.

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

L'UIT attire l'attention sur la possibilité que l'application ou la mise en œuvre de la présente Recommandation puisse donner lieu à l'utilisation d'un droit de propriété intellectuelle. L'UIT ne prend pas position en ce qui concerne l'existence, la validité ou l'applicabilité des droits de propriété intellectuelle, qu'ils soient revendiqués par un membre de l'UIT ou par une tierce partie étrangère à la procédure d'élaboration des Recommandations.

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT n'avait pas été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux développeurs de consulter la base de données des brevets du TSB sous <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2006

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
1	Champ d'application	1
2	Références normatives.....	2
3	Définitions	3
4	Procédure d'évaluation de la perturbation électromagnétique.....	8
	4.1 Généralités.....	8
	4.2 Système de perturbation	9
	4.3 Recueil des données électriques concernant les installations inductrices	10
	4.4 Evaluation de la perturbation résultante et de la conformité aux tensions de gestion.....	10
5	Situations de perturbation à étudier	11
	5.1 Types de couplage à prendre en considération.....	11
	5.2 Distance d'influence de référence.....	13
6	Tensions de gestion	21
	6.1 Critères définissant l'application des tensions de gestion.....	21
	6.2 Tensions dangereuses: limites	21
	6.3 Tensions susceptibles de provoquer des dommages	22
	6.4 Tensions d'immunité.....	23
	6.5 Tension de bruit: valeur limite	24
7	Conditions de perturbation de référence.....	24
	7.1 Généralités.....	24
	7.2 Conditions liées à l'installation inductrice.....	24
	7.3 Conditions associées à l'installation de télécommunication.....	29
8	Détermination de la conformité aux tensions de gestion.....	29
	8.1 Généralités.....	29
	8.2 Superposition des effets.....	30
	8.3 Détermination de la conformité par des calculs	30
	8.4 Détermination de la conformité par des mesures	30
9	Gestion des perturbations	30
	9.1 Généralités.....	30
	9.2 Durée de vie des installations	31
	9.3 Echange d'informations	31
	9.4 Documentation relative aux installations	31
	Annexe A – Méthode d'évaluation de la distance d'influence de référence.....	32
	A.1 Couplage inductif	32
	A.2 Couplage conducteur.....	37
	Appendice I – Facteur de pondération pour la détermination de la tension psophométrique pondérée.....	44

	Page
Appendice II – Valeurs des grandeurs affectant la distance d'influence de référence en couplage inductif	46
II.1 Valeurs indicatives	46
II.2 Valeurs des paramètres applicables à l'évaluation de la distance ID: couplage inductif	54
II.3 Valeurs des paramètres d'évaluation de la distance RID: couplage conductif.....	56
Appendice III – Etapes de détermination des valeurs de la distance RID liées à une ligne électrique c.a. ou à une ligne de traction électrique.....	57

Introduction

Les Directives (*Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les effets préjudiciables des lignes électriques et des chemins de fer électrifiés*) constituent les documents de référence relatifs aux perturbations électromagnétiques produites par les systèmes de distribution électrique et les systèmes électrifiés de traction ferroviaire sur les systèmes de télécommunication. Les Directives (édition de 1989) sont divisées en 9 volumes, traitant chacun d'un aspect distinct du sujet. Il est possible de les consulter en adoptant les principes suivants:

- pour un aperçu général des ouvrages de télécommunication, d'énergie électrique ou de chemins de fer électrifiés et des effets de leurs couplages mutuels, consulter le Volume I;
- pour des renseignements supplémentaires sur les installations inductrices dans les ouvrages d'énergie électrique ou les systèmes de chemins de fer électrifiés, consulter le Volume IV (chemins de fer) ou le Volume V (énergie électrique);
- pour une étude de la théorie physicomathématique des perturbations électromagnétiques et des méthodes de calcul, à différents niveaux de détail et de précision, consulter les Volumes II et III;
- pour connaître les effets des tensions et des courants induits, c'est-à-dire des dangers et des perturbations, ainsi que les valeurs limites recommandées, consulter le Volume VI;
- pour des conseils sur les composants protecteurs des dispositifs de protection complexes, consulter le Volume VIII;
- pour des renseignements sur les techniques d'essai et de mesure spécifiques, consulter le Volume IX.

NOTE – Le contenu des Directives a été approuvé officiellement par l'UIT, le CIGRE et l'UIC.

Depuis leur première édition (1952), les Directives représentent le document de référence mondial dans le domaine des perturbations électromagnétiques; elles sont utilisées afin de définir des normes régionales ou nationales, même sur des questions qui ne sont pas parfaitement identiques à celles dont traitent les Directives, mais qui leur sont étroitement liées, par exemple les perturbations électromagnétiques produites par les systèmes électriques et les systèmes ferroviaires électrifiés sur les canalisations ou sur les structures métalliques.

Les Directives ont été établies à une époque où les "intervenants" en matière de perturbations électromagnétiques étaient peu nombreux. Même si dans certains cas la libéralisation des télécommunications, de l'énergie et des transports ne date pas d'hier, dans beaucoup de pays, il y avait une seule société de télécommunication, une seule société d'énergie et une seule société de transport par chemin de fer. La solution aux problèmes de perturbations électromagnétiques était gérée par quelques spécialistes et présentait le caractère d'une étude scientifique. A présent, le nombre d'intervenants a considérablement augmenté et il faut considérer les problèmes de perturbation comme une activité de conception normale pour laquelle les informations et les indications des parties concernées sont indispensables.

Les Directives contiennent une quantité considérable de renseignements précieux tant au niveau scientifique qu'au niveau de la conception proprement dite. Aussi est-il nécessaire de guider à travers cette information surtout les entreprises de petite taille ou les entreprises susceptibles d'être confrontées pour la première fois à des problèmes de perturbations électromagnétiques.

En fait, les Directives ne répondent pas aux questions suivantes:

- 1) *qui* est responsable de la perturbation électromagnétique;
- 2) *quand* faut-il évaluer la perturbation électromagnétique;
- 3) *comment* cette évaluation doit-elle être effectuée.

La Rec. UIT-T K.53 a défini la responsabilité de la perturbation électromagnétique (première question ci-dessus).

La présente Recommandation traite de la gestion des perturbations électromagnétique (les deux questions suivantes ci-dessus), et s'emploie en particulier à définir:

- la distance maximale entre les installations concernées à des fins d'évaluation de la perturbation électromagnétique;
- les conditions (conditions d'installation, conditions de fonctionnement, flux d'énergie, etc.) des installations concernées en rapport avec les tensions de gestion.

La présente Recommandation examine d'un point de vue global les différents aspects de la gestion d'une perturbation électromagnétique.

Recommandation UIT-T K.68

Gestion des perturbations électromagnétiques induites par les systèmes électriques dans les systèmes de télécommunication

1 Champ d'application

La présente Recommandation indique les critères de définition des situations à examiner, ainsi que les conditions d'installation des ouvrages électriques et des ouvrages de télécommunication pour lesquelles les tensions de gestion sont applicables à la perturbation électromagnétique produite sur les systèmes de télécommunication par les systèmes électriques suivants:

- systèmes électriques c.a.;
- systèmes électriques c.c.;
- systèmes de traction électrique c.a.;
- systèmes de traction électrique c.c.;

due aux mécanismes physiques suivants:

- couplage inductif;
- couplage conducteur;
- couplage capacitif;

correspondant à différents états du système électrique:

- normal;
- dérangement;

dans le domaine de fréquence allant de 0 Hz à 9 kHz.

Les effets résultants pris en compte sont les suivants:

- danger pour la population;
- dommages infligés au système de télécommunication;
- gêne pour le système de télécommunication (dysfonctionnement, bruit).

La présente Recommandation est applicable à toutes les lignes métalliques. Les câbles à fibres optiques doivent être pris en compte uniquement si leur structure contient un conducteur, un écran ou un blindage métalliques.

La présente Recommandation a pour objectif d'établir:

- la procédure d'évaluation de la perturbation électromagnétique (§ 4);
- la distance maximale entre les installations électriques et les installations de télécommunication pour l'étude des perturbations électromagnétiques qui les affectent (§ 5);
- les conditions d'installation (§ 7) des installations électriques et des installations de télécommunication auxquelles se rapporte l'évaluation des perturbations (d'après les calculs effectués conformément aux indications des Volumes II ou III des Directives ou au moyen de mesures ou encore par une combinaison appropriée de ces deux méthodes) afin de vérifier la conformité (§ 8) des tensions induites sur la ligne de télécommunication aux tensions de gestion appropriées (§ 6);
- un rappel de la nécessité de maintenir un suivi approprié de l'évolution des caractéristiques techniques des installations concernées par la perturbation afin d'éviter, en raison des modifications intervenues, qu'un niveau de perturbation acceptable devienne inacceptable (§ 9).

La présente Recommandation est applicable à toutes les situations dans lesquelles une installation de télécommunication privée ou publique est susceptible d'être affectée par une ou plusieurs installations électriques.

La présente Recommandation est applicable aussi bien aux nouvelles installations de télécommunication et aux nouvelles installations électriques qu'aux installations existantes dans lesquelles des modifications sont envisagées – par exemple des transformations du dispositif de mise à la terre, de la configuration des lignes, de la tension de fonctionnement et du courant de défaut (en raison également de modification des installations connectées à une autre installation étudiée), et ont pour effet d'accroître notablement les niveaux actuels de brouillage.

La présente Recommandation est utilisée pour déterminer les types de couplage à envisager dans différentes conditions de fonctionnement des systèmes électriques afin de comparer les tensions induites prévues aux tensions de gestion indiquées au § 6.

La présente Recommandation ne s'applique pas aux perturbations électromagnétiques produites par les systèmes électriques dont la tension nominale de fonctionnement est inférieure à 1 kV.

2 Références normatives

La présente Recommandation se réfère à certaines dispositions des Recommandations UIT-T et textes suivants qui, de ce fait, en sont partie intégrante. Les versions indiquées étaient en vigueur au moment de la publication de la présente Recommandation. Toute Recommandation ou tout texte étant sujet à révision, les utilisateurs de la présente Recommandation sont invités à se reporter, si possible, aux versions les plus récentes des références normatives suivantes. La liste des Recommandations de l'UIT-T en vigueur est régulièrement publiée. La référence à un document figurant dans la présente Recommandation ne donne pas à ce document, en tant que tel, le statut d'une Recommandation.

- [1] CEI 60050-161:1990, *Vocabulaire Electrotechnique International. Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique.*
- [2] Directives UIT-T (1989), *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les effets préjudiciables des lignes électriques et des chemins de fer électrifiés, Volume VI "Dangers et perturbations".*
- [3] Recommandation UIT-T K.10 (1996), *Perturbation à basse fréquence due à la dissymétrie des installations de télécommunication par rapport à la terre.*
- [4] CEI 60050-448:1995, *Vocabulaire Electrotechnique International. Chapitre 448: Protection des réseaux d'énergie.*
- [5] CEI/TS 60479-1:2005, *Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques – Partie I: Aspects généraux.*
- [6] Directives UIT-T (1988), *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les effets préjudiciables des lignes électriques et des chemins de fer électrifiés, Volume II "Calcul des tensions et courants induits des cas pratiques".*
- [7] Recommandation UIT-T K.57 (2003), *Mesures de protection des stations de base radioélectriques installées sur des pylônes électriques.*
- [8] prEN 50122-1 (2005), *Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and bonding – Part 1: Protective provisions relating to electrical safety and earthing.*

- [9] Recommandation UIT-T K.33 (1996), *Limites assurant la sécurité des personnes en cas de couplage induit dans un système de télécommunication par un défaut dans une installation de transport d'énergie électrique ou dans une installation ferroviaire électrifiée (en courant alternatif)*.

3 Définitions

La présente Recommandation définit les termes suivants:

A moins qu'elles ne figurent dans la présente Recommandation, les définitions indiquées dans les normes CEI 60050-161 et CEI 60050-448 doivent être appliquées.

3.1 systèmes: ce terme générique désigne l'ensemble des éléments, des parties et des équipements interconnectés d'une technologie donnée (système de distribution électrique, système de traction électrique, système de télécommunication).

3.2 système électrique c.a.: système électrique fonctionnant en courant alternatif (c.a.), lié au transport et à la distribution de l'électricité.

NOTE – Les systèmes électriques biphasés fonctionnant à 16 2/3 Hz destinés l'approvisionnement des systèmes de traction électrique doivent être considérés comme des systèmes électriques c.a., même si les conducteurs correspondants sont installés sur les mêmes pylônes que les lignes de traction.

3.3 système électrique c.c.: système électrique fonctionnant en courant continu (c.c.), destiné au transport de l'électricité d'une sous-station à une autre.

NOTE – Ces sous-stations sont en fait des stations de redressement c.a./c.c. et des stations d'inversion.

3.4 système de traction électrique c.a.: système électrique fonctionnant en courant alternatif (c.a.), destiné à alimenter des rames électriques, à partir de sous-stations de traction: les trajets de retour, les conducteurs métalliques et/ou de mise à la terre font partie du système de traction.

3.5 système de traction électrique c.c.: système électrique fonctionnant en courant continu (c.c.), destiné à alimenter des rames électriques, à partir de sous-stations de traction: les trajets de retour, les conducteurs métalliques et/ou de mise à la terre font partie du système de traction.

3.6 système électrique: terme général désignant dans la présente Recommandation aussi bien les systèmes d'alimentation électrique que les systèmes de traction électrifiée.

3.7 système de télécommunication filaire: système permettant de transmettre des informations entre deux ou plusieurs points, au moyen de liaisons physiques. Les systèmes de télécommunication filaires envisagés dans la présente Recommandation sont ceux qui contiennent des éléments métalliques (par exemple paire métallique, gaine de câble, fibre optique renforcée, etc.: la fibre optique proprement dite n'est pas concernée par le phénomène physique dont traite la présente Recommandation).

3.8 installation: partie d'un système concernée par un problème de perturbation électromagnétique impliquant une ou plusieurs installations appartenant à d'autres systèmes.

- une installation peut être une ligne électrique reliant deux sous-stations ou une sous-station (installation électrique);
- une installation peut être une ligne de traction reliant deux gares ou un poste d'alimentation (installation électrique);
- une ligne de télécommunication reliant deux centraux ou reliant un central téléphonique à plusieurs usagers par un câble unique issu du central, subdivisé en plusieurs branches au niveau des armoires (installations de télécommunication).

3.9 fonctionnement normal: fonctionnement d'un système quelconque jugé exempt de défaillances. Les phénomènes transitoires entraînés par les épisodes de commutation qui se produisent sur les systèmes électriques sont considérés comme normaux.

3.10 défaut (pour les systèmes électriques): raccordement intempestif par contact, arc, etc., d'un conducteur sous tension à la terre ou à un objet métallique mis à la terre, c'est-à-dire un défaut en parallèle, ou le débranchement involontaire ou la rupture d'un conducteur de transport (notamment du trajet de retour dans le cas des systèmes de traction), c'est-à-dire un défaut en série.

La notion de défaut inclut également les cas de court-circuit entre deux phases ou de débranchement d'une phase ("phase déconnectée").

3.11 durée du défaut: durée d'un défaut simple.

NOTE – La durée d'un défaut en parallèle est déterminée par le temps nécessaire à son élimination, c'est-à-dire le temps écoulé entre le début du défaut et son relèvement [4].

3.12 durée de référence du défaut: il s'agit de la durée de la plus longue interruption de courant du disjoncteur associé pour éliminer le courant de défaut en cas de bon fonctionnement du dispositif de protection. Lorsqu'il faut également tenir compte de défauts de mise à la terre à forte impédance, la durée du défaut de référence de mise à la terre correspond à la plus longue période d'interruption afin d'éliminer au moins 65% du nombre total de défauts de mise à la terre [4].

NOTE – Le bon fonctionnement du dispositif de protection se traduit par le lancement du signal de déclenchement et de différentes instructions à partir du dispositif de protection, de la façon prévue afin de réagir à une défaillance ou une autre anomalie du système électrique et le fonctionnement des disjoncteurs consécutif au signal de déclenchement.

3.13 perturbation électromagnétique: phénomène électromagnétique (dont l'explication repose sur l'existence de trois types de couplages électromagnétiques) qu'une installation électrique peut créer à l'intérieur d'une installation voisine de télécommunication et pouvant être à l'origine d'un danger, de dommage, ou de gêne sur cette dernière.

3.14 inducteur: adjectif utilisé afin d'identifier l'installation responsable de la perturbation électromagnétique et les grandeurs correspondantes (ligne inductrice, courant inducteur, tension inductrice, ...);

3.15 induit: adjectif utilisé pour désigner l'installation affectée par la perturbation électromagnétique et les grandeurs correspondantes (ligne induite, courant induit et tension induite, ...).

3.16 couplage inductif: phénomène dans lequel le champ magnétique produit par la ligne de transport du courant (conducteurs, inducteurs) influence une autre ligne (conducteur induit), le couplage étant quantifié par l'impédance mutuelle des deux conducteurs ayant un même retour par la terre. Le courant transporté par la ligne inductrice est appelé courant inducteur.

3.17 couplage capacitif: phénomène dans lequel le champ électrique produit par la ligne de transport de tension (le ou les conducteurs inducteurs) influencent une autre ligne (conducteurs induits), le couplage étant quantifié par les coefficients de capacitance entre les conducteurs et chaque conducteur et la terre. La tension acheminée par le conducteur inducteur est dite tension inductrice.

3.18 couplage conductif: phénomène dans lequel le courant traversant la structure d'un conducteur (conducteur inducteur) vers la terre affecte la structure d'un autre conducteur (conducteur induit), le couplage étant quantifié par la conductance entre ces conducteurs (structure). Le courant circulant depuis le conducteur inducteur vers la terre est appelé courant inducteur.

3.19 danger: effet d'une perturbation susceptible de menacer une personne au contact de l'installation de télécommunication induite.

3.20 dommage: effet d'une perturbation provoquant une diminution permanente de la qualité de service, susceptible d'être offerte par l'installation de télécommunication induite.

NOTE – La disparition de la perturbation électromagnétique n'entraîne pas celle du dommage. Un dommage doit faire l'objet d'une intervention de remise en état.

3.21 gêne: effet d'une perturbation provoquant l'apparition de bruits ou de dysfonctionnements de l'installation de télécommunication induite.

NOTE – La gêne disparaît en même temps que la perturbation électromagnétique. Une gêne n'exige pas une intervention de remise en état.

3.22 bruit: type de trouble produisant une diminution de la qualité d'un service vocal offert par l'installation de télécommunication induite.

3.23 dysfonctionnement: type de perturbation liée à l'équipement installé parallèlement à une installation de télécommunication induite, entraînant une perte de capacité de l'équipement à lancer ou à conserver une fonction déclarée par le constructeur, ou ayant pour effet le début d'émissions au-delà des limites nominales de compatibilité électromagnétique.

3.24 distance d'influence: distance d'une installation électrique à laquelle le couplage inductif, capacitif ou conductif ou une combinaison de ces couplages risque de produire des perturbations sur une installation de télécommunication.

NOTE – La distance d'influence à partir d'une installation électrique tend vers l'infini: plus cette distance est importante et plus la perturbation est faible.

3.25 distance d'influence de référence: distance maximale d'une installation électrique à partir de laquelle il faut prendre en considération l'exposition aux perturbations.

NOTE – D'un point de vue pratique il est inutile de prendre en compte dans la présente Recommandation des distances supérieures à la distance d'influence de référence.

3.26 longueur induite: la projection d'une ligne de télécommunication sur une ligne de transport d'électricité ou sur une ligne de traction électrique, depuis le point à partir duquel cette ligne de télécommunication se trouve à une distance inférieure à la distance d'influence de référence (d) de la ligne électrique ou de la ligne de traction électrifiée, jusqu'au point suivant à partir duquel la même ligne de télécommunication se trouve au-delà de la distance d'influence de référence (voir Figure 1).

NOTE – Il convient d'étudier la perturbation affectant l'ensemble de la ligne lorsque celle-ci se trouve en partie ou en totalité à l'intérieur de la zone d'exposition.

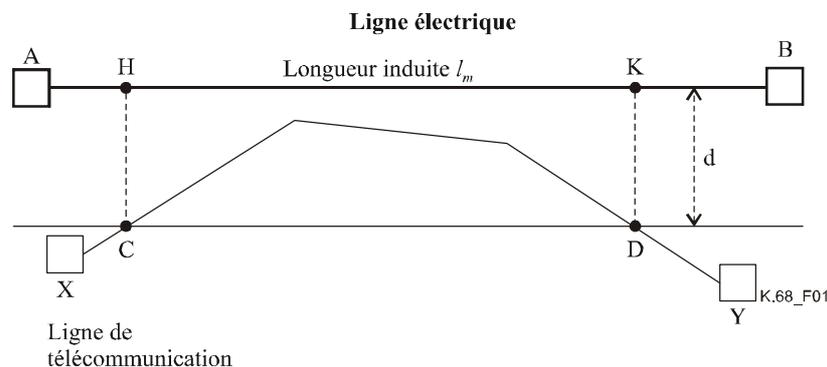


Figure 1/K.68 – Longueur induite

3.27 terre: masse conductive de la terre, dont le potentiel électrique en un point quelconque est considéré par convention comme égal à zéro (dans certains pays, on utilise le mot "masse" au lieu de "terre").

3.28 tension induite: tension produite dans une installation de télécommunication induite du fait de la perturbation électromagnétique provoquée par une ou plusieurs installations électriques inductrice.

3.29 tension induite en mode commun: tension induite commune à tous les conducteurs d'un groupe caractérisé par des conditions de mode commun identiques entre ce groupe et la terre, en un point donné de l'installation de télécommunication (voir Figure 2).

NOTE – La tension la plus élevée en mode commun apparaît généralement à une extrémité d'un conducteur, lorsque l'autre extrémité de ce conducteur est mise à la terre.

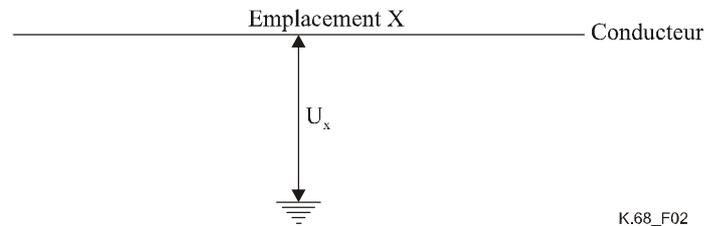


Figure 2/K.68 – Tension induite en mode commun

3.30 tension induite en mode différentiel: tension induite entre deux éléments quelconques d'un ensemble défini de conducteurs métalliques, à un emplacement donné de l'installation de télécommunication (voir Figure 3).

NOTE – Généralement, la tension importante est celle mesurée entre les deux conducteurs d'une paire symétrique. Dans certains cas, la tension entre deux paires différentes est également importante.

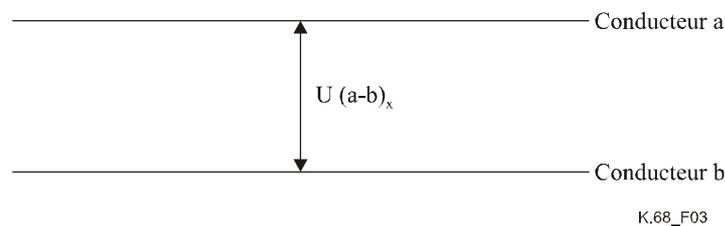


Figure 3/K.68 – Tension induite en mode différentiel

3.31 résistivité équivalente du sol: résistivité d'un sol homogène représentatif de différents types de sols stratifiés présents à l'emplacement des installations électriques et des installations de télécommunication considérées, prises en compte pour la gestion de la perturbation.

NOTE – Il est possible de constater des valeurs différentes de la résistivité équivalente du sol en différents points des installations.

3.32 tension ou courant psophométrique: la tension ou le courant psophométrique désigne la tension ou le courant mesuré sur une ligne téléphonique (en mode commun ou différentiel), U_p ou I_p , donnée par l'expression:

$$U_p = \frac{1}{p_{800}} \sqrt{\sum (p_f U_f)^2} \quad [\text{V}] \quad (1a)$$

$$I_p = \frac{1}{p_{800}} \sqrt{\sum (p_f I_f)^2} \quad [\text{A}] \quad (1b)$$

dans laquelle:

U_f ou I_f désigne la composante à la fréquence f de la tension [V] ou du courant [A]

p_f est le coefficient de pondération adapté à cette fréquence, correspondant à la réactivité de l'oreille humaine à cette fréquence, indiqué dans le tableau de pondération associé à la spécification psophométrique. Le tableau de l'Appendice I donne les valeurs de p_f pour différentes fréquences, étant entendu que p_{800} était égal par convention à 1000

3.33 zone rurale: zone comportant une faible densité de structures métalliques immédiatement en contact électrique avec le sol.

3.34 zone urbaine: zone qui contient une densité élevée de structures métalliques locales directement en contact électrique avec le sol, telles que des canalisations d'eau, des câbles à gainage métallique nu, des conducteurs de mise à la terre en cuivre nu, des rails de tramway ou des systèmes aériens de traction électrique, des bornes de terre ainsi que des structures de bâtiments, des mâts et des fondations.

3.35 système de perturbation: scénario complet de perturbations concernant une installation donnée, à étudier globalement.

Le système de perturbation d'une installation induite regroupe l'installation induite proprement dite et toutes les installations inductrices correspondantes. Le système de perturbation d'une installation inductrice regroupe l'installation inductrice proprement dite et toutes les installations induites.

3.36 perturbation (totale) résultante: grandeur électrique permettant de définir l'importance de la perturbation. Des calculs et des mesures permettent d'évaluer la perturbation résultante.

3.37 effet de la perturbation: conséquence de la perturbation sur les personnes au contact de l'installation induite et de l'installation induite proprement dite et de l'équipement qui lui est relié.

3.38 immunité: capacité d'un dispositif, d'un équipement ou d'un système à fonctionner sans altération en présence d'une perturbation (voir § 3.21).

3.39 endurance: capacité d'un dispositif, d'un équipement ou d'un système à résister sans dommage à la présence d'un phénomène électromagnétique jusqu'à un certain niveau spécifié et conformément à un critère déterminé.

3.40 tension de gestion: désignation générale de toutes les tensions induites à utiliser afin d'évaluer le caractère acceptable d'une situation de perturbation, c'est-à-dire:

- valeurs limites liées au danger auquel sont exposées les personnes qui travaillent auprès de l'installation de télécommunication;
- valeurs limites liées au bruit;
- niveau de tension d'endurance minimal de l'équipement connecté à l'installation de télécommunication;
- niveau de tension de résistance minimal de l'isolement de l'installation de télécommunication;
- niveau de tension d'immunité minimal de l'équipement connecté à l'installation de télécommunication.

3.41 situation type: les aspects suivants caractérisent la situation type d'une perturbation électromagnétique due aux systèmes électriques:

- le personnel présent auprès des installations de télécommunication est formé et expérimenté;
- les conditions de travail sont telles que seuls doivent être pris en compte les trajets de courant main-main et main-pied;
- le courant admissible correspond à l'une des valeurs indiquées par la courbe c_2 du document de référence [5] (Figure 20, courbe c_2).

3.42 situation dangereuse: on dit qu'il s'agit d'une situation dangereuse lorsque les caractéristiques de la situation normale de perturbation électromagnétique due aux systèmes électriques ne sont pas applicables. Les aspects suivants caractérisent une situation dangereuse:

- les conditions de travail sont telles que des trajets de courant de type main-main, main-pied, main-poitrine et main-hanches doivent être pris en compte;
- on suppose une valeur nulle de l'impédance source;
- la valeur du courant admissible figure parmi celles indiquées à la courbe c_1 du document de référence [5] (Figure 20, courbe c_1).

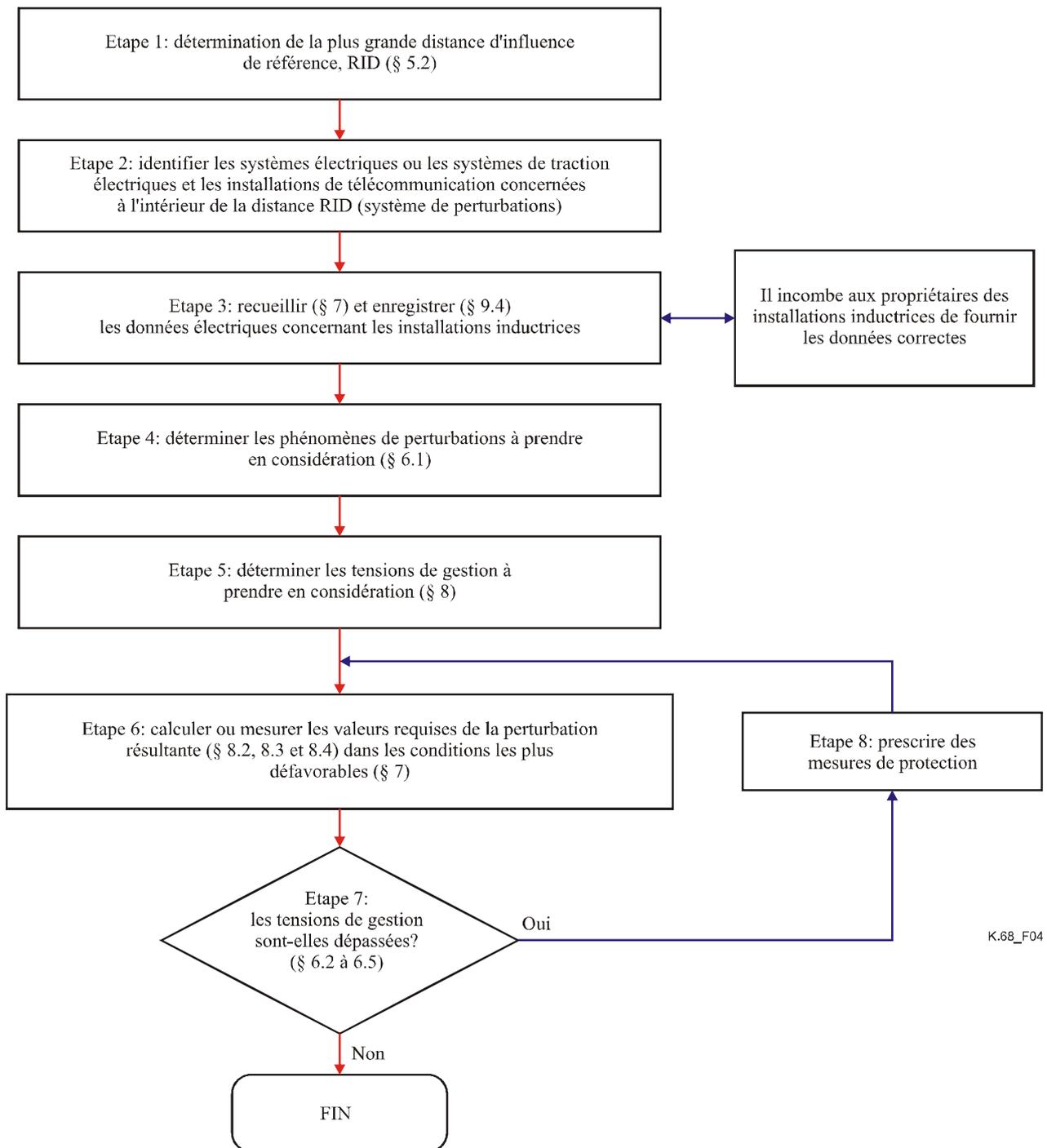
4 Procédure d'évaluation de la perturbation électromagnétique

4.1 Généralités

Afin d'évaluer si une situation de perturbation est acceptable, il incombe au concepteur de suivre une procédure que l'on peut subdiviser en plusieurs étapes (voir Figure 4).

Les paragraphes ci-dessous décrivent la façon de procéder recommandée¹.

¹ La procédure décrite correspond au cas de la conception d'une nouvelle installation de télécommunication, face à des installations électriques existantes: naturellement, la situation inverse peut se présenter. Lorsqu'il faut concevoir une nouvelle installation électrique, la procédure est semblable, avec quelques différences "évidentes".



K.68_F04

Figure 4/K.68 – Diagramme résumant la procédure à suivre pour évaluer une perturbation électromagnétique

4.2 Système de perturbation

Compte tenu de la distance de référence la plus importante (indiquée au § 5.2) il faut recenser toutes les installations inductrices envisageables. Cette tâche peut s'effectuer au moyen de relevés et/ou en s'adressant aux propriétaires des installations en question afin d'en déterminer la configuration. Ensuite, en fonction de la nature de chaque installation, il faut définir les couplages correspondants (voir § 5.1) et déterminer les distances d'influence de référence effectives (voir § 5.2) pour chaque type de couplage et pour les différentes installations inductrices envisageables. En fonction des distances d'influence de référence, il est possible de ne pas tenir compte de certaines installations

inductrices. A la fin de cette étape, le système de perturbation concernant l'installation induite est déterminé.

4.3 Recueil des données électriques concernant les installations inductrices

Lorsqu'on prévoit la construction ou la modification d'une installation inductrice, son propriétaire est tenu d'informer les propriétaires des installations affectées. Ces informations doivent comporter les données électriques nécessaires à la description des conditions de perturbation de référence (§ 7).

Il incombe aux propriétaires des installations inductrices de fournir des données exactes: il est donc important d'en conserver un enregistrement (§ 9.4).

4.4 Evaluation de la perturbation résultante et de la conformité aux tensions de gestion

4.4.1 Principes généraux

En fonction du type d'installation induite et compte tenu de toutes les installations inductrices du système de perturbation, le concepteur doit:

- choisir les effets de perturbation à prendre en compte, en fonction du § 6.1;
- évaluer la ou les perturbations résultantes pour chacun des effets retenus lors de l'étape précédente, compte tenu du § 6.1;
- effectuer des calculs ou des mesures ou une combinaison appropriée de ces deux opérations afin d'évaluer les niveaux résultants de perturbation, conformément aux § 8.2, 8.3 et 8.4. Les situations de perturbation à étudier (perturbation la plus défavorable) doivent être définies en fonction des indications du § 7.

4.4.2 Première évaluation

En procédant conjointement ou séparément à des calculs ou des mesures, il faut évaluer la conformité aux tensions de gestion (§ 6.2, 6.3, 6.4 et 6.5) de l'installation induite, dans sa configuration nominale de base (voir § 8.1).

Si la situation de perturbation est acceptable, la poursuite des opérations de conception est inutile.

Si le niveau de perturbation est inacceptable, il faut alors mettre en œuvre des mesures d'atténuation.

4.4.3 Conception des mesures d'atténuation: évaluations ultérieures

Le concepteur doit déterminer les mesures d'atténuation envisageables et effectuer des évaluations en réalisant des calculs ou des mesures ou par une combinaison judicieuse de ces deux approches afin de déterminer les mesures les mieux adaptées à l'installation induite.

Le choix des mesures à adopter et la question de savoir s'il faut les mettre en œuvre au niveau de l'installation inductrice ou de l'installation induite dépendront du type et de l'importance de la perturbation considérée, du coût des mesures d'atténuation et selon qu'il s'agit d'installations existantes ou en cours de conception. Comme pour toute activité de conception, la meilleure solution est un compromis satisfaisant entre impératifs techniques et économiques.

Le concepteur doit gérer cette activité avec le plus grand soin.

Le concepteur doit tenir compte du fait qu'une mesure d'atténuation capable de limiter l'induction résultante observée dans une partie de l'installation induite (par exemple une prise de terre à une extrémité de l'installation), peut en même temps l'intensifier dans d'autres parties de ladite installation (par exemple à l'autre extrémité): aussi importe-t-il d'envisager différentes configurations d'induction.

Le concepteur doit également tenir compte du fait qu'une mesure d'atténuation capable de résoudre une situation de perturbation inacceptable due à une installation inductrice donnée, peut en même temps transformer une situation de perturbation acceptable, créée par une autre installation inductrice, en une situation inacceptable. Autrement dit, toutes les installations du système de perturbations doivent être correctement prises en compte.

NOTE – En règle générale, à l'exception d'un couplage conductif au niveau des sous-stations, les situations sont normalement acceptables dans les cas suivants: lorsque la ligne induite est un conducteur à l'intérieur d'un câble muni d'un gainage métallique mis à la terre ou d'un blindage, et de protections contre les surtensions dues à la foudre aux deux extrémités, et lorsque des précautions spéciales sont prises pour empêcher le passage dans l'organisme humain d'intensités de courant inadmissibles.

5 Situations de perturbation à étudier

5.1 Types de couplage à prendre en considération

5.1.1 Stade du projet

Les Tableaux 1, 2 et 3 suivants définissent les types de couplage à examiner (calculs ou mesures) avant de mettre en service une nouvelle installation.

Le Tableau 1 se rapporte à des défauts de terre simples et tient compte de la faiblesse des valeurs de courant associées aux réseaux mis à la terre isolés et résonnants.

Le couplage conductif est pris en compte uniquement dans les secteurs où les systèmes de télécommunication pénètrent dans une zone EPR d'élévation de potentiel du sol d'une grille de mise à la terre.

Tableau 1/K.68 – Types de couplage à prendre en considération pour des installations électriques en présence de différents défauts de mise à la terre – Stade du projet

Type d'installation électrique		Type d'installation de télécommunication		
		Câble aérien		Câble souterrain
		Sans revêtement métallique	Avec revêtement métallique mis à la terre	
Systèmes électriques aériens c.a. bi et triphasés	Neutre mis à la terre directement ou par une faible impédance	inductif conductif	inductif conductif	inductif conductif
	Neutre isolé ou résonnant à la terre	aucun	aucun	aucun
Systèmes électriques câblés c.a. bi et triphasés	Neutre mis à la terre directement ou par une faible impédance	inductif conductif	inductif conductif	inductif conductif
	Neutre non mis à la terre directement	aucun	aucun	aucun
Système électrique c.c.		aucun	aucun	aucun
Système de traction électrique c.a.		inductif conductif	inductif conductif	Inductif conductif
Système de traction électrique c.c.		aucun	aucun	aucun

Tableau 2/K.68 – Types de couplage à envisager pour des installations électriques en fonctionnement normal susceptibles de créer un danger pour les personnes présentes ou d'endommager une installation de télécommunication – Stade du projet

Type d'installation électrique		Type d'installation de télécommunication		
		Câble aérien		Câble souterrain
		Sans revêtement métallique	Avec revêtement métallique mis à la terre	
Systèmes électriques aériens c.a. bi et triphasés	Tous types de mise à la terre du neutre	inductif capacitif	inductif	inductive
Systèmes électriques câblés c.a. bi et triphasés	Tous types de mise à la terre du neutre	aucun	aucun	aucun
Système électrique c.c.		aucun	aucun	aucun
Système de traction électrique c.a.		inductive	inductif conductif	inductif conductif
Système de traction électrique c.c.		aucun	conductif	conductif

Tableau 3/K.68 – Types de couplage à envisager pour des installations électriques en fonctionnement normal susceptibles de gêner le fonctionnement d'une installation de télécommunication – Stade du projet

Type d'installation électrique		Type d'installation de télécommunication		
		Câble aérien		Câble souterrain
		Sans revêtement métallique	Avec revêtement métallique mis à la terre	
Systèmes électriques aériens c.a. bi et triphasés	Tous types de mise à la terre du neutre	inductif	inductif	inductif
Systèmes électriques câblés c.a. bi et triphasés	Tous types de mise à la terre du neutre	aucun	aucun	aucun
Système électrique c.c.		aucun	aucun	aucun
Système de traction électrique c.a.		inductif	inductif conductif	inductif conductif
Système de traction électrique c.c.		aucun	aucun	aucun

5.1.2 Stade de l'exploitation

Tous les types de couplage, autres que ceux indiqués aux Tableaux 1, 2 et 3 ne sont généralement pas une cause de danger, de dommage ou de gêne, de sorte que seule l'apparition d'effets observables des perturbations exige la réalisation de calculs ou de mesures.

5.2 Distance d'influence de référence

5.2.1 Généralités

Les installations électriques situées à une distance inférieure ou égale à la distance de référence (RID, *reference influence distance*) par rapport à une installation de télécommunication donnée sont considérées comme des installations inductrices pour cette installation de télécommunication. Il est ainsi possible de définir le système de brouillage pour l'installation de télécommunication induite considérée.

Les installations de télécommunication situées à une distance inférieure ou égale à la RID par rapport à une installation électrique sont considérées comme des installations inductrices pour cette installation électrique. Il est ainsi possible de définir le système de bouillage pour l'installation électrique inductrice.

La prise en compte de la distance RID a pour objectif de limiter le nombre d'installations inductrices à prendre en considération et pour lesquelles il faut fixer les valeurs des tensions/courants inducteurs.

La présente Recommandation propose les valeurs des distances RID indiquées aux paragraphes ci-dessous: elles doivent être évaluées au moyen des méthodes présentées à l'Annexe A, et au moyen des hypothèses énoncées à l'Appendice II, correspondant aux conditions les plus défavorables créées par la présence d'un défaut dans les lignes électriques et en cas de fonctionnement normal des lignes de traction électriques (les valeurs indiquées dans les tableaux correspondent aux cas les plus défavorables, c'est-à-dire aux valeurs les plus grandes de la distance RID). Toutefois, des valeurs différentes peuvent être définies dans chaque pays, par exemple par le comité national ou l'autorité nationale compétente ou doivent être convenues entre les parties concernées, sur la base de la méthode indiquée à l'Annexe A et en supposant différentes valeurs des paramètres à prendre en compte, tout en observant les valeurs mentionnées au § II.2 afin de mieux refléter les caractéristiques nationales. Le paragraphe II.1 présente une série de valeurs de ces paramètres.

La prise en compte de la distance RID a pour objectif concret de déterminer quelles sont les installations dont les données électriques doivent être demandées à l'administration ou à l'exploitant du réseau de distribution, du système de traction électrique ou du système de télécommunication. Toutefois, la notion de distance RID ne supprime pas la responsabilité des parties concernées quant aux perturbations susceptibles d'apparaître aux distances supérieures aux valeurs RID.

La distance RID doit être mesurée d'après la longueur de la projection au sol de l'axe de la ligne électrique.

5.2.2 Couplage inductif

5.2.2.1 Régime perturbé

5.2.2.1.1 Ligne électrique c.a.

Les valeurs de la distance RID indiquées au Tableau 4 relatives à une situation normale et au Tableau 5 relatives à une situation dangereuse, sont applicables pour $f = 50/60$ Hz.

Ces tableaux indiquent les valeurs RID correspondant à des lignes de télécommunication non blindées, courtes (par exemple réseau d'accès) ou longues, en fonction de la résistivité équivalente du sol, et pour des lignes électriques c.a. aériennes et souterraines, à conducteurs neutres directement mis à la terre, en zone rurale comme en zone urbaine.

Tableau 4/K.68 – Valeurs de la distance RID pour un réseau électrique c.a. 50/60 Hz – Situation type

Longueur du système de télécommunication	Résistivité équivalente du sol [Ωm]	RID [m]			
		Système électrique/Environnement			
		Aérien		Souterrain	
		Rural	Urbain	Rural	Urbain
Ligne courte	50	550	70	Note	Note
	500	1700	100	Note	
	5000	5400	100	300	
Ligne longue	50	1200	500	300	20
	500	3700	1200	1000	
	5000	12000	2400	3100	

NOTE – Pas de perturbation.

Tableau 5/K.68 – Valeurs de la distance RID pour réseau électrique c.a. 50/60 Hz – Situations dangereuses

Longueur de la ligne de télécommunication	Résistivité équivalente du sol [Ωm]	RID [m]			
		Système électrique/Environnement			
		Aérien		Souterrain	
		Rural	Urbain	Rural	Urbain
Ligne courte	50	1000	400	250	Note
	500	3300	800	750	
	5000	10000	1450	2400	
Ligne longue	50	1800	1050	750	200
	500	5800	2600	2400	400
	5000	18000	6500	7500	600

NOTE – Pas de perturbation.

La ligne électrique c.a. dont le neutre n'est pas directement mis à la terre ne perturbe pas en règle générale les lignes de télécommunication dans une situation type (les perturbations apparaissent uniquement dans les cas exceptionnels, voir le § II.1). C'est seulement dans une situation dangereuse que les lignes électriques aériennes c.a. en zone rurale risquent de perturber les lignes de télécommunication longues. Dans ce cas, les valeurs suivantes des distances RID doivent être utilisées:

- 30 m pour $\rho = 50 \Omega\text{m}$;
- 100 m pour $\rho = 500 \Omega\text{m}$;
- 300 m pour $\rho = 5000 \Omega\text{m}$.

Les valeurs RID signalées au Tableau 6 relatives à une situation type et à une situation dangereuse sont applicables aux installations électriques biphasées c.a. à une fréquence $f = 16\frac{2}{3}$ Hz.

Le Tableau 6 indique les valeurs RID correspondant à des lignes de télécommunication non blindées courtes (par exemple, réseau d'accès) ou longues, en fonction de la résistivité équivalente du sol, pour des lignes c.a. aériennes en zone rurale.

NOTE 1 – Une ligne électrique souterraine est supposée blindée. Si le blindage muni d'un revêtement plastique isolé est relié à la terre à une extrémité seulement, il faut alors considérer la ligne souterraine comme une ligne aérienne.

NOTE 2 – Une ligne électrique c.a. est une ligne "aérienne" en zone rurale, tandis que dans les zones urbaines seules des lignes souterraines sont installées.

Tableau 6/K.68 – Valeurs RID relatives à des systèmes électriques c.a. diphasés fonctionnant à 16 $\frac{2}{3}$ Hz, en situation type et en situation dangereuse

Système électrique/ Environnement	Résistivité équivalente du sol [Ω m]	RID [m]			
		Système de télécommunication			
		Situation type		Situation dangereuse	
		Ligne courte	Ligne longue	Ligne courte	Ligne longue
Aérien/rural	50	100	700	800	1800
	500	300	2200	2500	5800
	5000	1000	7000	8000	18000

5.2.2.1.2 Ligne électrique c.c.

A l'étude.

5.2.2.2 Fonctionnement normal

5.2.2.2.1 Ligne de traction électrique c.a.

5.2.2.2.1.1 Distance RID relative à un phénomène d'induction à la fréquence fondamentale

Les valeurs de la distance RID indiquées au Tableau 7 à 50/60 Hz et au Tableau 8 à 16 $\frac{2}{3}$ Hz sont applicables à une ligne de traction électrique c.a., munie d'un système simple d'alimentation avec retour par rail (RR), dans une situation type et dans une situation dangereuse.

Les valeurs de la distance RID indiquées au Tableau 9 à 50/60 Hz et au Tableau 10 à 16 $\frac{2}{3}$ Hz sont applicables à une ligne de traction électrique c.a., munie d'un système spécial d'alimentation (autotransformateur (AT) ou transformateur-suceur (BT)), dans des situations type et dangereuse.

Ces tableaux indiquent les valeurs de la distance RID pour des lignes de télécommunication non blindées courtes (par exemple, réseau d'accès) ou longues, en fonction de la résistivité équivalente du sol, pour des lignes c.a. aériennes et souterraines, en zone rurale comme en zone urbaine.

Tableau 7/K.68 – Valeurs RID relatives à une ligne de traction électrique c.a. munie d'un système simple d'alimentation avec retour par rail (RR) à 50/60 Hz, en situations type et dangereuse

Système électrique/ Environnement	Résistivité équivalente du sol [Ω m]	RID [m]	
		Système de télécommunication	
		Ligne courte	Ligne longue
Aérien/rural	50	700	1350
	500	2200	4300
	5000	7000	13500
Aérien/urbain	50	140	600
	500	250	1600
	5000	300	3500

Tableau 8/K.68 – Valeurs de la distance RID pour une ligne de traction électrique c.a. munie d'un système simple d'alimentation avec retour par rail (RR) à 16 $\frac{2}{3}$ Hz, en situations type et dangereuse

Système électrique/ Environnement	Résistivité équivalente du sol [Ω m]	RID [m]	
		Système de télécommunication	
		Ligne courte	Ligne longue
Aérien/rural	50	450	1400
	500	1400	4300
	5000	4500	13500
Aérien/urbain	50	15	400
	500		800
	5000		1200

Tableau 9/K.68 – Valeurs de la distance RID pour une ligne de traction électrique c.a. munie d'un système spécial d'alimentation (AT ou BT) à 50/60 Hz, en situations type et dangereuse

Système électrique/ Environnement	Résistivité équivalente du sol [Ω m]	RID [m]	
		Système de télécommunication	
		Ligne courte	Ligne longue
Aérien/rural	50	160	600
	500	500	2000
	5000	1000	2800
Aérien/urbain	50	Note	130
	500		240
	5000		300

NOTE – Pas de perturbation.

Tableau 10/K.68 – Valeurs de la distance RID pour une ligne de traction électrique c.a. munie d'un système spécial d'alimentation AT/BT à 16²/₃ Hz en situations type et dangereuse

Système électrique/ Environnement	Résistivité équivalente du sol [Ωm]	RID [m]	
		Système de télécommunication	
		Ligne courte	Ligne longue
Aérien/rural	50	10	280
	500	30	900
	5000	500	5000
Aérien/urbain	50	Note	Note
	500		
	5000		
NOTE – Pas de perturbation.			

5.2.2.2.1.2 Distance RID relative à l'induction à la fréquence psophométrique

Les valeurs de la distance RID calculées pour une motrice à inverseur de fréquence et moteur asynchrone, sont inférieures à celles qui correspondent à la fréquence industrielle, tandis que les valeurs RID calculées pour une motrice à diode (thyristor) avec filtrage ou pour une locomotive à diode et commande par thyristor mélangeur sans filtre sont indiquées aux Tableaux 11 ou 12 respectivement, en situation type et en situation dangereuse. Ces valeurs RID sont supérieures à celles obtenues à la fréquence industrielle.

Tableau 11/K.68 – Valeurs de la distance RID relatives à l'induction psophométrique due à une ligne de traction électrique c.a. avec motrice à diode (thyristor) munie d'un filtre à 50/60 Hz, en situations type et dangereuse

Système électrique/ Environnement	Résistivité équivalente du sol [Ωm]	RID [m]	
		Système de télécommunication	
		Ligne courte	Ligne longue
Aérien/rural	50	940	Non correspondant
	500	3000	
	5000	9400	
Aérien/urbain	50	650	
	500	1800	
	5000	5300	

Tableau 12/K.68 – Valeurs de la distance RID relatives à l'induction psophométrique due à une ligne de traction électrique c.a. avec motrice à diode (thyristor) munie d'un filtre à 50/60 Hz, en situations type et dangereuse

Système électrique/ Environnement	Résistivité équivalente du sol [Ωm]	RID [m]	
		Système de télécommunication	
		Ligne courte	Ligne longue
Aérien/rural	50	1900	Non correspondant
	500	6000	
	5000	19000	
Aérien/urbain	50	1250	
	500	3500	
	5000	9400	

5.2.2.2.2 Ligne de traction électrique c.c.

A l'étude.

5.2.3 Couplage capacitif

La distance d'influence de référence doit être de 100 m seulement lorsque la ligne inductrice comme la ligne induite sont aériennes et sans blindage. Dans tous les autres cas, on ne tient pas compte du couplage capacitif.

5.2.4 Couplage conducteur

Le calcul de la distance RID pour le couplage conducteur doit prendre en considération la résistivité du sol de surface, dans lequel l'électrode de terre (grille) est enfouie.

5.2.4.1 Grille de mise à la terre de la sous-station

Les valeurs de la distance RID indiquées au Tableau 13 relatives à une situation type et au Tableau 14 relatives à une situation dangereuse doivent être appliquées pour $f = 50/60$ Hz.

Ces tableaux indiquent les valeurs RID correspondant à des lignes de télécommunication non blindées courtes (par exemple réseau d'accès) ou longues, en fonction de la résistivité équivalente du sol, pour des lignes électriques c.a. aériennes, mixtes et souterraines, dont le neutre est directement mis la terre aussi bien en zone rurale qu'en zone urbaine.

NOTE – Il est peu probable qu'une sous-station soit installée dans un sol de résistivité très forte; aussi les valeurs RID indiquées pour 5000 Ωm ne devraient-elles pas être utilisées, étant donné que la valeur pour 500 Ω couvre le domaine allant de 150 Ωm à 1500 Ω, tel qu'indiqué au Tableau II.1.

Tableau 13/K.68 – Valeurs de la distance RID pour un système électrique c.a. à 50/60 Hz, en situation type (couplage conductif dû à la grille de mise à la terre de la sous-station)

Surface de la grille de la sous-station [m ²]	Résistivité du sol [Ωm]	RID [m]					
		Système électrique/Environnement					
		Aérien		Mixte		Souterrain	
		Rural	Urbain	Rural	Urbain	Rural	Urbain
225 (15 m × 15 m)	50	40	15	10	Note	Note	Note
	500	450	150	200	60	90	30
	5000	4700	1150	1900	450	900	200
2500 (50 m × 50 m)	50	50	10	5	Note	Note	Note
	500	700	200	250	75	120	30
	5000	7000	1700	2800	680	1400	300
22500 (150 m × 150 m)	50	30	Note	Note	Note	Note	Note
	500	850	250	300	60	120	2
	5000	9300	2200	3700	850	1800	400

NOTE – Pas de perturbation.

Tableau 14/K.68 – Valeurs de la distance RID pour un système électrique c.a. à 50/60 Hz, en situation dangereuse (couplage conductif dû à la grille de mise à la terre de la sous-station)

Surface de la grille de mise à la terre de la sous-station [m ²]	Résistivité du sol [Ωm]	RID [m]					
		Système électrique/Environnement					
		Aérien		Mixte		Souterrain	
		Rural	Urbain	Rural	Urbain	Rural	Urbain
225 (15 m × 15 m)	50	100	40	40	10	15	Note
	500	1100	400	430	150	200	70
	5000	11000	2700	4300	1000	2200	500
2500 (50 m × 50 m)	50	140	50	40	5	10	Note
	500	1600	500	600	200	300	90
	5000	16400	4000	6500	1600	3200	800
22500 (150 m × 150 m)	50	150	30	20	Note	Note	Note
	500	2100	700	800	200	350	80
	5000	21800	5400	8600	2100	4300	1000

NOTE – Pas de perturbation.

5.2.4.2 Mise à la terre d'un pylône de ligne électrique

Les valeurs de la distance RID indiquées au Tableau 15 pour une situation type et au Tableau 16 pour une situation dangereuse, sont applicables pour $f = 50/60$ Hz.

Ces tableaux indiquent les valeurs RID relatives à des lignes de télécommunication non blindées courtes (par exemple un réseau d'accès) ou longues, en fonction de la résistivité équivalente du sol, pour des lignes électriques c.a. aériennes dont les conducteurs neutres sont directement mis à la terre, en zone rurale comme en zone urbaine.

Lorsque les mesures font apparaître des valeurs différentes de celles indiquées au Tableau 15 et au Tableau 16, il convient d'utiliser les valeurs mesurées.

Tableau 15.K.68 – Pour un système électrique c.a. à 50/60 Hz, en situation type (couplage conductif dû à un pylône électrique)

Configuration du fil écran	Résistivité du sol [Ωm]	RID [m]	
		Système électrique/Environnement	
		Aérien/rural	Aérien/urbain
1 sw	50	15	6
	500	25	8
	5000	30	8
2 sw	50	10	4
	500	15	6
	5000	20	5
1 sw + cp	50	3	1
	500	7	2
	5000	15	3

Tableau 16/K.68 – Valeurs de la distance RID relative à un système électrique c.a. à 50/60 Hz, en situation dangereuse (couplage conductif dû à un pylône électrique)

Configuration du fil-écran	Résistivité du sol [Ωm]	RID [m]	
		Système électrique/Environnement	
		Aérien/rural	Aérien/urbain
1 sw	50	30	15
	500	55	30
	5000	80	30
2 sw	50	20	10
	500	40	15
	5000	50	15
1 sw + cp	50	6	3
	500	15	5
	5000	30	7

5.2.4.3 Systèmes de traction électrique c.a.

La valeur de la distance RID est de 5 m en situation type comme en situation dangereuse.

6 Tensions de gestion

6.1 Critères définissant l'application des tensions de gestion

Les effets à prendre en compte et la perturbation résultante à évaluer pour quantifier l'ampleur de la perturbation électromagnétique dans les situations les plus défavorables figurent au Tableau 17: les tensions de gestion correspondantes sont celles indiquées aux § 6.2, 6.3, 6.4 et 6.5.

Tableau 17/K.68 – Effets à prendre en compte et résultats correspondants

Effet sur l'installation induite	Installation inductrice	Doit-on considérer cet effet?	Perturbation résultante
Danger	Fonctionnement normal	oui	Tension par rapport à la terre
	Défaut	oui	Tension par rapport à la terre
Dommmage	Fonctionnement normal	oui	Tension par rapport à la terre
	Défaut	oui	Tension par rapport à la terre
Gêne	Fonctionnement normal	oui	Tension entre les deux câbles d'une paire
	Défaut	non	–

6.2 Tensions dangereuses: limites

6.2.1 Généralités

Le présent paragraphe indique les tensions induites et les durées correspondantes observées sur une installation de télécommunication du fait de l'influence d'un système électrique c.a. ou d'une ligne de traction électrique voisine en fonctionnement normal et en présence d'un défaut que les exploitants de systèmes et de lignes ferroviaires sont autorisés à créer par un type quelconque de couplage électromagnétique sur une installation de télécommunication induite, sans mettre en danger les personnes qui travaillent dans ladite installation.

NOTE – Il est interdit aux usagers des services de télécommunication de toucher une quelconque pièce métallique du système de télécommunication (voir la Rec. UIT-T K.50).

6.2.2 Défaut

Les valeurs limites de la tension induite en mode commun, par rapport à la terre, en un point quelconque de l'installation de télécommunication induite, sont indiquées au Tableau 18 pour les situations types et au Tableau 19 pour les situations dangereuses.

NOTE 1 – L'application de la Rec. UIT-T K.33 permet de calculer des valeurs limites différentes.

NOTE 2 – Les valeurs inscrites dans ces tableaux sont justifiées au Volume VI des Directives.

Tableau 18/K.68 – Valeurs limites correspondant à une situation dangereuse en cas de perturbations électromagnétiques créées par des installations électriques c.a. présentant un défaut: situation type

Durée du défaut de référence t [s]	Tension induite V_{eff} [V]
$t \leq 0,10$	2000
$0,10 < t \leq 0,20$	1500
$0,20 < t \leq 0,35$	1000
$0,35 < t \leq 0,50$	650
$0,50 < t \leq 1,00$	430
$1,00 < t \leq 3,00$	150
$3,00 < t$	60

Tableau 19/K.68 – Valeurs limites correspondant à une situation dangereuse en cas de perturbations électromagnétiques créées par des installations électriques c.a. présentant un défaut: situation dangereuse

Durée du défaut de référence t [s]	Tension induite V_{eff} cas général [V]	Tension induite V_{eff} n'exigeant pas la prise en compte des trajets de courant poitrine ou hanche [V]
$t \leq 0,06$	430	650
$0,06 < t \leq 0,1$	430	430
$0,1 < t \leq 1,0$	300	300
$t > 1,0$	60	60

En cas de défaut des systèmes électriques c.c. la tension induite en mode commun, en régime transitoire, par rapport à la terre, en un point quelconque de l'installation de télécommunication induite ne doit pas dépasser les valeurs crête indiquées aux Tableaux 18 et 19 respectivement pour une situation type et pour une situation dangereuse.

NOTE 3 – La protection contre le danger est assurée si la ligne induite est un conducteur placé dans un câble muni d'un blindage métallique mis à la terre ou d'un écran et si tous les conducteurs sont équipés de dispositifs de protection contre la foudre aux deux extrémités, le blindage étant mis à la terre aux intervalles de temps prescrits et si l'on adopte des précautions spéciales pour éviter le passage à travers le corps d'intensités inacceptables.

6.2.3 Fonctionnement normal

La valeur limite de la tension induite en mode commun par rapport à la terre en un point quelconque de l'installation de télécommunication induite, créée simultanément par toutes les installations électriques inductrices du système de perturbation en fonctionnement normal, est de $60 V_{\text{eff}}$.

6.3 Tensions susceptibles de provoquer des dommages

Le présent paragraphe indique les tensions induites et les durées correspondantes observées sur une installation de télécommunication du fait de l'influence d'un système électrique c.a. ou d'une ligne de traction électrique voisine en fonctionnement normal et en présence d'un défaut que les exploitants de systèmes et de lignes ferroviaires sont autorisés à créer par un type quelconque de couplage électromagnétique sur une installation de télécommunication induite, sans qu'ils soient

responsables de mesures d'atténuation des dommages subis par l'isolation et/ou par l'équipement de l'installation de télécommunication.

Les valeurs des tensions induites en mode commun par rapport à la terre en un point quelconque de l'installation de télécommunication induite, et susceptible de provoquer des dommages dans une situation de défaut des installations électriques sont les suivantes:

- 1) les valeurs indiquées au Tableau 20 correspondent au niveau de résistivité minimal de l'équipement relié à l'installation de télécommunication.

NOTE 1 – Lorsque la perturbation électromagnétique est produite par une installation électrique c.c., en régime transitoire, les valeurs limites sont les valeurs crête des tensions efficaces induites indiquées au Tableau 20.

- 2) 1000 V_{eff} correspond à la tension de tenue minimale de l'isolation pour des installations de télécommunication constituées de câbles électriques dont les conducteurs sont isolés au papier, indépendamment de la durée du défaut de référence.
- 3) 2000 V_{eff} correspond à la tension de tenue minimale de l'isolation pour des installations de télécommunication constituées de câbles coaxiaux, indépendamment de la durée du défaut de référence.
- 4) 2000 V_{eff} correspond à la tension de tenue minimale de l'isolation pour des installations de télécommunication constituées de câbles à fibre optique contenant des parties métalliques, indépendamment de la durée du défaut de référence.

NOTE 2 – La protection contre les dommages de l'isolation et/à l'équipement de l'installation de télécommunication est assurée lorsque la ligne induite est un conducteur à l'intérieur d'un câble muni d'un blindage métallique mis à la terre ou d'un écran et lorsque tous les conducteurs sont équipés d'un dispositif de protection contre la foudre aux deux extrémités.

Tableau 20/K.68 – Résistivité minimale des équipements reliés aux installations de télécommunication en fonction de la durée du défaut des installations électriques c.a.

Durée du défaut de référence [s]	Tension induite V_{eff} [V]
$t \leq 0,20$	1030
$0,20 < t \leq 0,35$	780
$0,35 < t \leq 0,50$	650
$0,50 < t \leq 1,0$	430
$1,0 < t \leq 2,0$	300
$2,0 < t \leq 3,0$	250
$3,0 < t \leq 5,0$	200
$5,0 < t \leq 10,0$	150
$t > 10,0$	60

6.4 Tensions d'immunité

Les valeurs de la tension induite créée par toutes les installations électriques inductrices du système de perturbations, en exploitation normale, agissant simultanément et susceptibles de provoquer des dysfonctionnements des équipements reliés à l'installation de télécommunication, sont les suivantes:

- 60 V_{eff} dans le cas de la tension induite en mode commun par rapport à la terre en un point quelconque de l'installation de télécommunication induite;

- 60 V_{eff} pour la tension induite entre deux parties métalliques quelconques situées au même endroit, en un point quelconque de l'installation de télécommunication induite.

6.5 Tension de bruit: valeur limite

La valeur limite de la tension psophométrique induite entre les deux fils d'une paire de l'installation de télécommunication induite, créée conjointement par l'ensemble des installations électriques inductrices du système de perturbation en exploitation normale, susceptible d'altérer la qualité d'un service vocal pouvant être offert par l'installation de télécommunication induite, est de 0,5 mV en un terminal quelconque de cette dernière.

NOTE 1 – Les valeurs de l'affaiblissement de jonction longitudinale LCL indiquées au § 6/K.10 se traduisent par une tension longitudinale psophométrique induite admissible de 200 mV, en un point terminal quelconque d'une ligne de télécommunication.

NOTE 2 – Dans le cas d'une perturbation électromagnétique créée par des systèmes de traction électrique, si la tension psophométrique induite est supérieure à la limite de bruit indiquée dans le présent paragraphe, mais inférieure à 2,5 mV, le bruit est tolérable si, dans un intervalle quelconque d'une minute au plus, la somme des produits des tensions psophométriques supérieures à 0,5 mV et de la durée correspondante est inférieure ou égale à 30 mV.

7 Conditions de perturbation de référence

7.1 Généralités

Les tensions de gestion indiquées au § 6 se rapportent à des conditions de perturbation qui doivent être les plus graves tout en étant réalistes (dotées d'une probabilité d'apparition suffisante).

Si l'on considère l'installation inductrice, les conditions de perturbations de référence sont généralement représentées par les valeurs les plus élevées des paramètres inducteurs (courant, tensions, distances de rapprochement, ...).

Ceci étant, la présente Recommandation donne simplement des indications quant aux conditions de perturbation de référence: tel est particulièrement le cas en ce qui concerne les installations complexes (par exemple, locomotives électriques équipées d'autotransformateurs ou de transformateurs-suceurs). Eu égard au grand nombre de paramètres impliqués, il est impossible dans la plupart des cas de définir a priori la situation de perturbation la plus défavorable. Au niveau de l'installation induite, elle ne se caractérise pas nécessairement par les tensions induites les plus élevées; elle pourrait toutefois être caractérisée par l'étendue maximale de la partie de l'installation induite où apparaissent des tensions induites inacceptables.

Il incombe aux concepteurs d'examiner différentes situations de perturbation pour déterminer quelle est la plus défavorable, après avoir étudié la série complète des perturbations résultantes observées.

Si l'on considère l'installation induite, la situation de perturbation de référence correspond à celle qui est représentée par la meilleure configuration de protection, sur la base des données de conception.

La dissymétrie de l'installation de télécommunication doit être conforme à la Rec. UIT-T K.10 [3].

7.2 Conditions liées à l'installation inductrice

7.2.1 Système électrique c.a.

7.2.1.1 Défauts

Le défaut à prendre en considération est un défaut de la phase par rapport à la terre.

NOTE – Ces valeurs sont associées à la phase transitoire des courants de court-circuit à la terre. La première valeur crête de la phase sous-transitoire doit également être prise en compte par exemple dans le cas de la sous-station d'une centrale électrique.

L'organisme exploitant de l'installation électrique c.a. concernée doit fournir la valeur du courant de défaut. L'intensité doit permettre les augmentations prévues du courant de défaut défini pour l'installation.

Le courant de défaut de terre doit être indiqué pour chacun des points sur toute la longueur de l'installation inductrice, y compris au niveau des sous-stations, puisque tous ces points de la ligne inductrice constituent des emplacements de défaut possibles (cette question n'est pas étudiée).

Les valeurs du courant de défaut doivent être fournies sous forme de diagrammes, d'expressions, ou de tableaux, ainsi que les valeurs du courant inducteur réel, en tenant compte de l'effet atténuateur des fils-écrans mis à la terre (par exemple).

La durée du défaut de référence doit être indiquée par la compagnie électrique en fonction des réglages des relais de protection ou des données statistiques de défaut applicables à l'installation considérée.

7.2.1.1.1 Couplage conducteur

Les tensions qui apparaissent dans le système de télécommunication du fait d'un couplage conducteur au niveau d'une sous-station doivent être mesurées, compte tenu de l'importance des variations locales. Les mesures sont réalisées au moyen d'un générateur d'essai avec un courant de quelques dizaines d'ampères. On préfère utiliser une fréquence différente de la fréquence fondamentale, mais néanmoins voisine, par exemple inférieure de 5 à 10 Hz. L'usage d'un voltmètre sélectif en fréquence évitera l'obtention de résultats décevants faussés par la fréquence fondamentale. Le courant résultant de l'élévation de potentiel du sol est le courant circulant depuis la grille de mise à la terre de la sous-station et constitue une partie seulement du courant de défaut total.

Les tensions de perturbation de référence sont obtenues en multipliant les résultats des essais par le ratio courant de grille de mise à la terre/courant d'essai.

Les tensions qui apparaissent dans le système de télécommunication en raison d'un couplage conducteur au niveau d'une sous-station sont calculables si l'on connaît les paramètres de la grille de la mise à la terre de la sous-station et la valeur du courant de mise à la terre. Si l'on ne connaît pas les paramètres en question ou si la sous-station se trouve dans une zone urbaine ou encore si le sol à proximité de la sous-station est fortement hétérogène, la mesure de ces tensions peut s'avérer indispensable.

La sonde de courant associée au générateur doit être suffisamment loin de la sous-station pour éviter un couplage notable entre la grille et la sonde. Les conducteurs reliés au générateur d'injection et aux sondes de mesure de l'élévation du potentiel du sol doivent être installées suivant un angle d'au moins 90° afin d'éviter les effets d'inductance mutuelle.

7.2.1.1.2 Couplage inductif

L'ingénieur chargé de procéder à l'évaluation doit choisir l'emplacement de défaut à considérer pour évaluer la perturbation résultante par rapport aux valeurs limites, de façon à obtenir le niveau d'induction le plus défavorable affectant une ligne de télécommunication particulière.

La Figure 5 indique le profil longitudinal (ligne en pointillés des courants de défaut circulant entre les sous-stations A et B en fonction de l'emplacement du défaut le long de la ligne électrique). Dans ce cas, l'impédance de la ligne électrique par rapport à la terre en un point quelconque est la même, c'est-à-dire 0Ω .

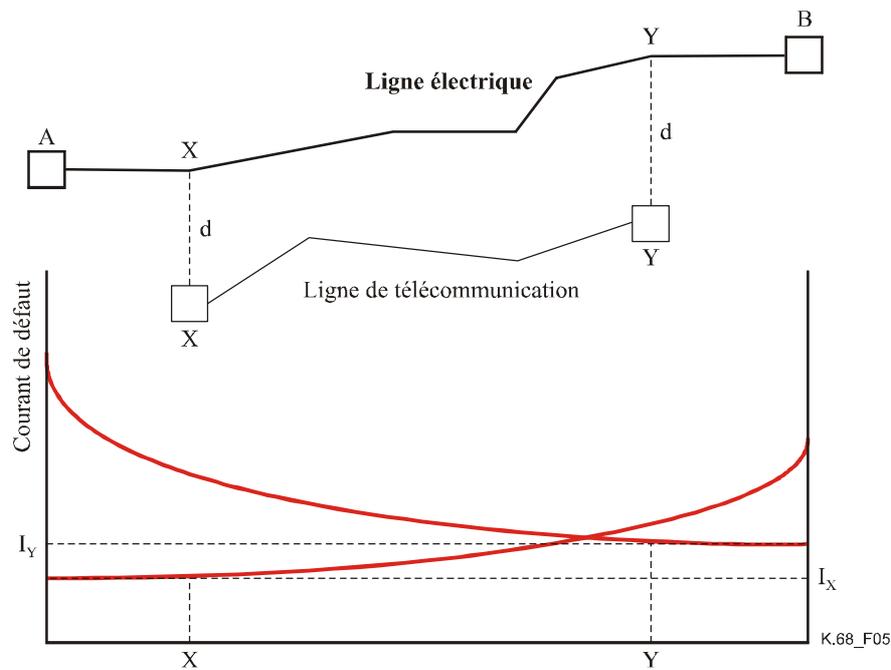


Figure 5/K.68 – Variation type du courant de défaut de terre en fonction de l'emplacement du défaut (par exemple emplacements x et y) pour des installations dont l'impédance de défaut est identique tout le long de la ligne

Le courant de défaut à partir de la sous-station A diminue depuis A le long de la ligne jusqu'à la sous-station B. Un défaut à l'emplacement Y, l'une des extrémités de la projection de la ligne de télécommunication X –Y, donnera lieu normalement à la plus forte tension induite à partir de la sous-station A.

Le courant issu de la sous-station B donnera la tension induite la plus élevée à l'emplacement de défaut X. Etant donné que I_Y est supérieur à I_X , I_Y correspondra au cas le plus défavorable.

La Figure 6 représente le cas dans lequel l'impédance de défaut de la ligne électrique vers la terre est inférieure aux extrémités, en raison d'une impédance de 0Ω au niveau des sous-stations. L'impédance en un point quelconque de la ligne peut être par exemple de 15Ω . Par conséquent, il y aura un échelon dans le profil transversal d'intensité du courant en dehors des sous-stations. Aussi importe-t-il de vérifier le courant de défaut non seulement pour les défauts situés aux deux extrémités X et Y, mais aussi au niveau des sous-stations d'alimentation A et B, et de comparer les valeurs relevées.

Le courant provenant de la sous-station A, I_Z produira la tension la plus élevée dans ce cas, puisqu'il est conjointement supérieur à I_X et à I_Y .

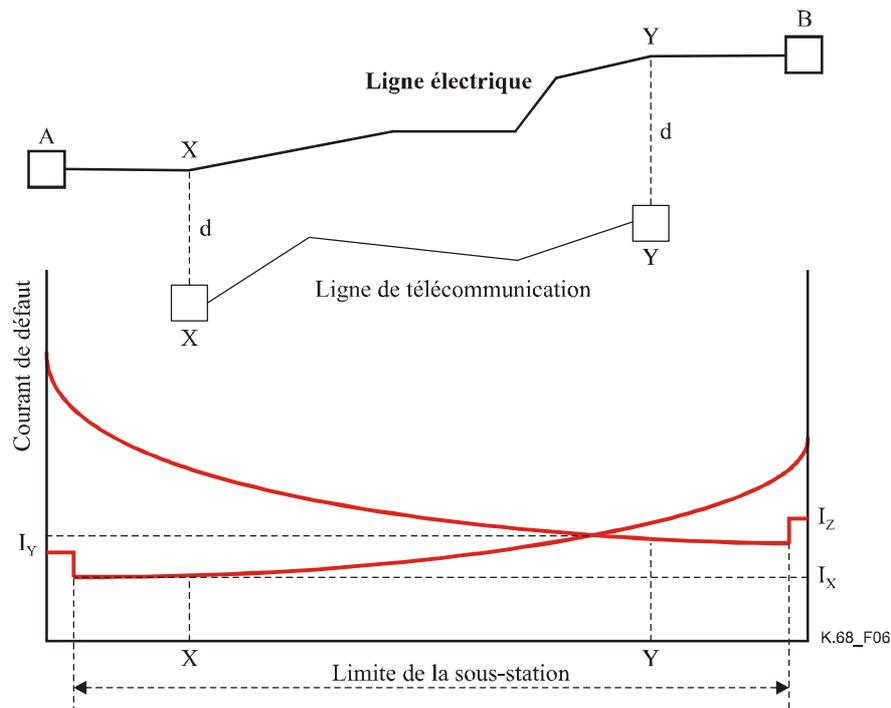


Figure 6/K.68 – Profil longitudinal type du courant de défaut de terre correspondant aux installations dans lesquelles l'impédance de défaut est inférieure aux extrémités (sous-stations), mais plus élevée le long de la ligne (cas plus réaliste)

7.2.1.2 Conditions d'exploitation

En ce qui concerne le couplage inductif, le courant inducteur est le courant de phase continu avec une dissymétrie de 2%. Lorsque la coupure d'une phase intervient, le courant inducteur à considérer est égal aux deux tiers du courant nominal de la ligne électrique.

Par rapport au couplage capacitif, la tension inductrice vaut 110% de la tension nominale.

7.2.2 Système électrique c.c.

7.2.2.1 Défauts

A l'étude.

7.2.2.2 Conditions d'exploitation

En ce qui concerne le couplage inductif, le courant inducteur est le courant ondulé obtenu après rectification, correspondant aux conditions d'exploitation les plus défavorables (par exemple au cours d'opérations de maintenance de l'opération).

L'administration du système d'alimentation électrique doit fournir les valeurs en question.

7.2.3 Système de traction électrique c.a.

7.2.3.1 Défauts

Le défaut à prendre en compte correspond à un courant de défaut de terre de l'un des conducteurs de la ligne de traction (généralement le conducteur de contact: les conducteurs autres que le câble de contact doivent être ensuite pris en considération afin d'identifier le cas le plus défavorable).

Il faut évaluer le courant de défaut à partir de la connaissance de la tension source et des impédances de ligne relatives à l'installation inductrice. Il faut également supposer que la tension source atteint sa valeur maximale au moment de l'apparition du défaut (110% de la tension nominale) et que l'impédance de défaut est égale à 0Ω .

L'exploitant du système de traction électrique doit fournir ces valeurs.

L'emplacement de défaut à envisager afin d'évaluer la perturbation résultante à comparer aux valeurs limites doit être choisi par le concepteur de façon à correspondre à la situation d'induction la plus défavorable.

Il peut s'avérer nécessaire d'examiner un certain nombre de cas afin d'identifier l'emplacement de défaut le plus défavorable, en particulier en présence de systèmes d'alimentation électrique particuliers, par exemple les systèmes à autotransformateurs et à transformateurs-suceurs.

7.2.3.2 Conditions d'exploitation

a) *Courant à la fréquence fondamentale*

L'opérateur du système de traction doit fournir les valeurs des courants d'exploitation circulant dans tous les conducteurs de la motrice (terre et rails conducteurs inclus), dans toute l'installation, et permettant:

- de construire le système électrique;
- de placer les rames par rapport aux liaisons entre conducteurs de retour et autres dispositifs d'électrification tels que transformateurs-suceurs ou autotransformateurs;
- de connaître le courant sur toutes les voies appropriées.

b) *Courants aux fréquences harmoniques*

L'opérateur du système de traction doit fournir les valeurs de tous les harmoniques de courant appropriés eu égard à la résonance et à la capacitance du système et en considérant chaque motrice comme une source de courant. Sinon, l'exploitant du système de traction doit fournir la valeur du courant psophométrique.

Le régime de charge des rames doit correspondre à celui utilisé dans la section a) ci-dessus.

c) *Commutation de ligne*

La fréquence f du courant inducteur à utiliser dans le calcul des tensions induites produites par la mise sous tension d'une ligne de traction c.a. est donnée par la formule:

$$f = \frac{v}{4l} \text{ [Hz]} \quad (2)$$

avec:

v vitesse de propagation [km/s] (= 290 000 km/s)

l longueur de la section de ligne sous tension [km].

La valeur du courant est donnée par la formule:

$$I_s = E / Z_c \text{ [A]} \quad (3)$$

avec:

E valeur crête de la tension d'alimentation [V]

Z_c impédance caractéristique du caténaire par rapport à la boucle de terre [Ω].

7.2.4 Système de traction électrique c.c.

7.2.4.1 Défauts

A l'étude.

7.2.4.2 Conditions d'exploitation

En ce qui concerne le couplage inductif, les courants inducteurs sont simultanément:

- a) le courant ondulé obtenu par redressement, évalué (à l'aide de calculs ou de mesures) dans la situation d'exploitation la plus défavorable (par exemple, pendant les opérations de maintenance des installations);
- b) le courant résultant du régime de charge des rames.

L'administration du système de traction doit fournir ces valeurs.

7.3 Conditions associées à l'installation de télécommunication

La condition de référence associée à l'installation de télécommunication induite est celle spécifiée par la conception de l'installation.

L'absence de maintenance entraînant une protection moins efficace contre les perturbations n'est pas prise en considération.

L'opérateur de télécommunication doit fournir ces valeurs.

Au besoin, les paramètres descriptifs de la dissymétrie doivent être communiqués (il ne faut pas perdre de vue que la dissymétrie de l'installation de télécommunication doit être conforme aux exigences de la Rec. UIT-T K.10 [3]).

8 Détermination de la conformité aux tensions de gestion

8.1 Généralités

Afin de déterminer la conformité aux tensions de gestion, il faut évaluer les tensions induites par des calculs ou des mesures ou par une combinaison appropriée de ces deux méthodes.

Lorsqu'un danger pour les personnes est effectivement présent, les tensions induites ne doivent pas dépasser les tensions dangereuses, c'est-à-dire les valeurs limites associées à la présence d'un danger (pour une situation type ou pour une situation dangereuse) tel qu'indiqué au § 6.2.

Lorsqu'il y a lieu de considérer les dommages matériels, deux options sont en présence:

- 1) la tension induite, à l'endroit où l'équipement est ou peut être installé, ne doit pas dépasser les tensions de dommage indiquées au § 6.3;
- 2) la tension induite, à l'endroit où l'équipement est ou peut être installé, peut dépasser les tensions de dommage indiquées au § 6.3, à condition que, de deux choses l'une:
 - a) l'équipement, dont l'endurance est inférieure ou égale aux valeurs indiquées au § 6.3 doit être adéquatement protégé;
 - b) un équipement doté d'une endurance renforcée (endurance supérieure aux valeurs indiquées au § 6.3), soit installé.

NOTE 1 – Les tensions de dommage indiquées au § 6.3 ont pour seul but de définir les modalités de partage des responsabilités (dépenses) entre les propriétaires des installations inductrices et induites.

Lorsqu'il y a lieu de considérer un défaut de fonctionnement de l'équipement, il existe alors deux options:

- 1) la tension induite, à l'endroit où l'équipement est ou peut être installé, ne doit pas dépasser les tensions liées à un défaut de fonctionnement indiquées au § 6.4;
- 2) la tension induite, là où l'équipement est ou peut être installé, peut dépasser les tensions associées aux défauts de fonctionnement indiquées au § 6.4, à condition d'installer un équipement offrant un niveau d'immunité renforcé (niveau d'immunité supérieur aux valeurs indiquées au § 6.4).

NOTE 2 – Les tensions correspondant à un défaut de fonctionnement, indiquées au § 6.4 ont pour seul objectif de définir les modalités de partage des responsabilités entre les propriétaires des installations inductrices et induites (par exemple, les frais).

Lorsqu'il y a lieu de prendre en compte le bruit, la tension psophométrique évaluée entre les deux fils d'une paire, en un point terminal quelconque de l'installation de télécommunication induite, doit être inférieure ou égale à la valeur limite de bruit indiquée au § 6.5.

8.2 Superposition des effets

Lors de l'étude du système de perturbation d'une installation induite les hypothèses suivantes doivent être retenues:

- les défauts présents sur les installations inductrices (chacun étant de très courte durée) n'interviennent pas simultanément: autrement dit, les perturbations résultantes créées sur l'installation induite par une installation inductrice unique présentant un défaut doivent être évaluées isolément et directement comparées aux tensions de gestion appropriées;
- les régimes de fonctionnement normal de l'ensemble des installations inductrices interviennent simultanément: autrement dit, les perturbations résultantes créées sur l'installation induite par l'ensemble des installations inductrices en régime de fonctionnement normal doivent être évaluées et ces résultats cumulés doivent être comparés aux tensions de gestion appropriées.

8.3 Détermination de la conformité par des calculs

Les calculs sont couramment utilisés afin de vérifier la conformité aux tensions de gestion.

Ces calculs doivent être effectués conformément aux exigences stipulées par les parties impliquées: les méthodes de calcul convenues doivent être choisies conformément à celles indiquées dans les Directives.

8.4 Détermination de la conformité par des mesures

Cette approche n'est pas courante pour de nombreuses raisons, notamment en raison du coût très élevé que peut atteindre une campagne de mesures complète. De plus, il ne faut pas oublier que les résultats des mesures ne sont généralement pas directement comparables aux tensions de gestion; il est en effet très difficile de réaliser des mesures dans les conditions de référence associées aux tensions de gestion. Autrement dit, le résultat des mesures effectuées dans des conditions de perturbation qui ne correspondent pas aux cas le plus défavorable, exige un travail ultérieur approprié faisant appel à des méthodes de calcul permettant d'obtenir des valeurs comparables aux tensions de gestion.

En revanche, il est préférable dans certains cas d'opter pour les mesures, de préférence aux calculs, par exemple lorsque les données d'entrée des calculs sont connues avec un faible degré de précision ou lorsque l'algorithme de calcul est approché; ainsi, la mesure du bruit peut s'avérer préférable à son calcul.

9 Gestion des perturbations

9.1 Généralités

Chaque situation de perturbation concerne la sécurité des personnes et met en jeu d'éventuels dommages ou dysfonctionnements des installations. Cela signifie qu'elle doit être gérée avec soin (voir § 4) pour garantir un niveau acceptable de perturbation au terme de la phase de conception. Si nécessaire, des mesures adéquates d'atténuation doivent être prévues (voir § 4.4.3).

Il est dans l'intérêt de tous les propriétaires des installations concernées de coopérer afin de résoudre les problèmes de perturbation électromagnétique.

9.2 Durée de vie des installations

Il ne faut pas oublier que les caractéristiques techniques d'une installation varient souvent au cours de sa durée de vie et qu'il peut donc en être ainsi du statut d'une perturbation.

Une situation critique apparaît lorsque, suite à une modification des caractéristiques techniques d'une ou plusieurs installations, ou en raison de l'introduction d'une nouvelle installation inductrice dans le système de perturbation d'une installation induite, une perturbation acceptable devient inacceptable: tout incident doit faire l'objet d'un suivi approprié de l'évolution dans le temps des caractéristiques techniques des installations concernées par les perturbations électromagnétiques.

9.3 Echange d'informations

Il faut être conscient du fait qu'un système de perturbation peut concerner un certain nombre d'installations inductrices/induites appartenant à différents propriétaires. Autrement dit, il importe au plus haut point de mettre en place un système correct, efficace, fiable et rapide d'échange d'informations entre toutes les entreprises impliquées.

Une possibilité de gérer cet aspect tient à la désignation par chaque entreprise d'un responsable spécifiquement chargé des perturbations, qui fait la synthèse complète de tous les problèmes de perturbation affectant l'entreprise, et qui fait office de personne de référence pour tout échange d'informations lié aux perturbations affectant l'entreprise.

9.4 Documentation relative aux installations

Une façon de contrôler les situations génératrices de perturbations consiste à tenir à jour un dossier des perturbations relatif à chaque installation.

Ce dossier pourrait être organisé de façon à contenir autant de sous-dossiers qu'il existe de situations de perturbation concernant l'installation. Ainsi, un dossier d'installation de télécommunication contiendra autant de sous-dossiers qu'il existe d'installations inductrices, tandis qu'un dossier d'installation électrique contiendra autant de sous-dossiers qu'il existe d'installations induites (un dossier se rapportant à un système de perturbation).

Chaque sous-dossier contiendra tous les documents relatifs au problème, par exemple:

- les contacts pris avec tous les propriétaires des installations inductrices (dans le cas d'un dossier d'installation de télécommunication) ou les propriétaires des installations induites (dans le cas d'un dossier d'installation électrique) afin de garder une trace concernant le moment, les modalités d'obtention et la provenance des données recueillies;
- le descriptif géométrique et électrique des installations concernées par le problème des perturbations;
- les résultats des calculs effectués (un calcul lorsque la perturbation est acceptable depuis le début: plusieurs calculs si la perturbation n'était pas acceptable d'emblée et a par conséquent dû donner lieu à la conception de mesures d'atténuation: le dossier doit conserver une trace de ces calculs);
- les résultats des mesures éventuellement effectuées;
- tout autre document traitant des accords conclus entre les propriétaires des installations quant au partage des coûts liés à la perturbation éventuelle.

Chacun des sous-dossiers doit être indépendant et complet.

De même que les caractéristiques des installations sont susceptibles de changements au cours de leur durée de vie, le dossier de perturbation d'une installation peut évoluer au cours de cette même durée de vie; aussi est-il indispensable d'ajouter de nouveaux documents (les documents ne peuvent être qu'ajoutés à un dossier) de façon à garder trace de l'évolution de l'installation.

Annexe A

Méthode d'évaluation de la distance d'influence de référence

A.1 Couplage inductif

A.1.1 Principe du calcul

La distance d'influence de référence (RID) relative aux lignes des systèmes électriques et des réseaux de traction peut être obtenue à partir des tensions de gestion U_m , compte tenu de la valeur du courant inducteur, de la longueur inductrice maximale possible et des différents effets d'occultation. La première étape consiste à calculer la valeur normalisée u_m suivante de la tension de gestion d'après l'expression ci-dessous:

$$u_m = \frac{U_m}{l_m} \frac{1}{k_t} \frac{1}{k_u} \frac{1}{k_p} \frac{1}{I_p} \left[\frac{V}{km \cdot kA} \right] \quad (A-1)$$

avec:

U_m valeur appropriée de la tension de gestion concernant la situation inductrice en présence (défaut ou exploitation normale) et le type de tension de gestion (dommage, résistivité) en V

l_m longueur inductrice maximale concernant les installations d'une situation d'induction donnée, en km

k_t est le facteur d'occultation associé à la ligne induite, (grandeur sans dimension)

K_u facteur d'occultation dû aux structures métalliques enfouies (facteur urbain) (grandeur dans dimension)

K_p facteur d'occultation associé à la ligne électrique inductrice (grandeur sans dimension)

I_p courant avec retour de terre de la ligne électrique inductrice, en kA.

La valeur numérique de u_m indiquée par l'expression ci-dessus est égale à la valeur numérique de l'impédance mutuelle z_m , par unité de longueur entre la ligne inductrice et une ligne hypothétique parallèle à la ligne inductrice située à la distance d'influence de référence, soit

$$u_m = z_m \left[\frac{m\Omega}{km} \right] \quad (A-2)$$

La valeur de z_m est fonction des grandeurs suivantes:

f : fréquence du courant inducteur, en Hz

ρ : résistivité équivalente du sol

d : distance d'influence de référence relative pour le couplage inductif.

Par conséquent:

$$z_m = f(f, \rho, d) \left[\frac{m\Omega}{km} \right] \quad (A-3)$$

Dans une situation d'induction donnée, la fréquence f et la résistivité du sol ρ sont connues pour l'environnement considéré, de telle sorte qu'il est possible d'évaluer la distance d'influence de référence d au moyen de l'expression ci-dessus. Du fait de l'expression compliquée de la relation mathématique permettant de calculer z_m , on ne peut indiquer aucune formule explicite de calcul de la distance d'influence de référence d . Toutefois, on trouvera ci-dessous une des méthodes permettant de déterminer sa valeur.

A.1.2 Détermination de la distance d'influence de référence

A.1.2.1 Méthode de calcul

En principe toute expression de la relation entre l'impédance mutuelle z_m et le courant de retour de terre et les grandeurs qui figurent dans l'expression (A-3) peut servir au calcul des valeurs d de la distance RID dans le cas du couplage inductif. Ces relations sont indiquées au Volume II des Directives (§ 4.1 [6]). Eu égard au caractère estimatif de l'évaluation de la distance RID, le calcul de z_m n'exige pas l'utilisation d'une expression d'une haute précision. Les expressions polynomiales suivantes sont donc applicables:

Pour $x \leq 10$

$$|z_m| = 2\pi f \cdot 10^{-3} (142,5 + 45,96x - 1,413x^2 - 198,4 \ln x) \quad \left[\frac{m\Omega}{km} \right] \quad (A-4a)$$

Pour $x > 10$

$$|z_m| = 2\pi f \cdot 10^{-3} \frac{400}{x^2} \quad \left[\frac{m\Omega}{km} \right] \quad (A-4b)$$

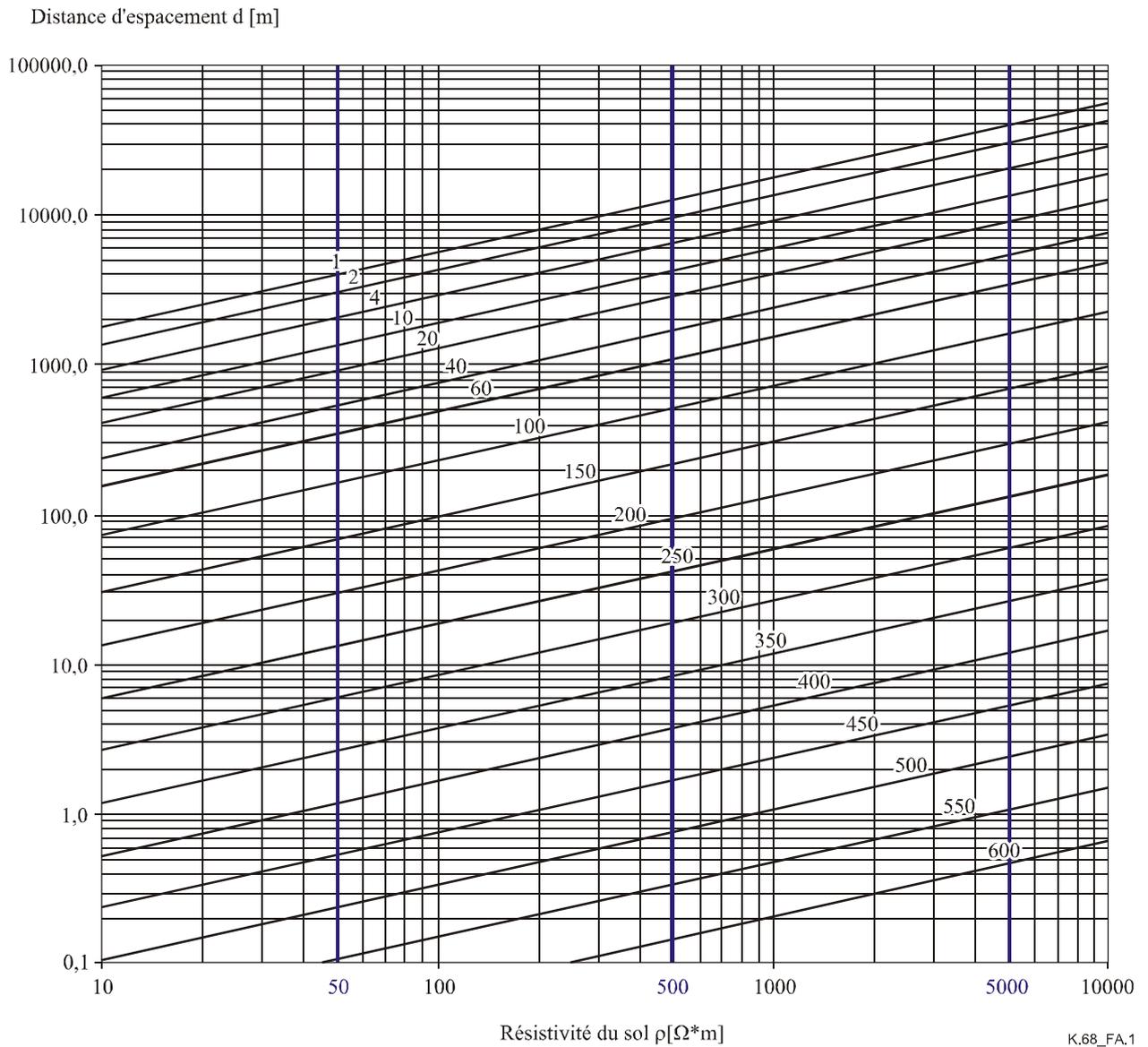
avec:

$$x = \alpha \cdot d = \sqrt{\mu_o \frac{\omega}{\rho}} \cdot d = 2,81 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{f}{\rho}} \cdot d \quad [-] \quad (A-5)$$

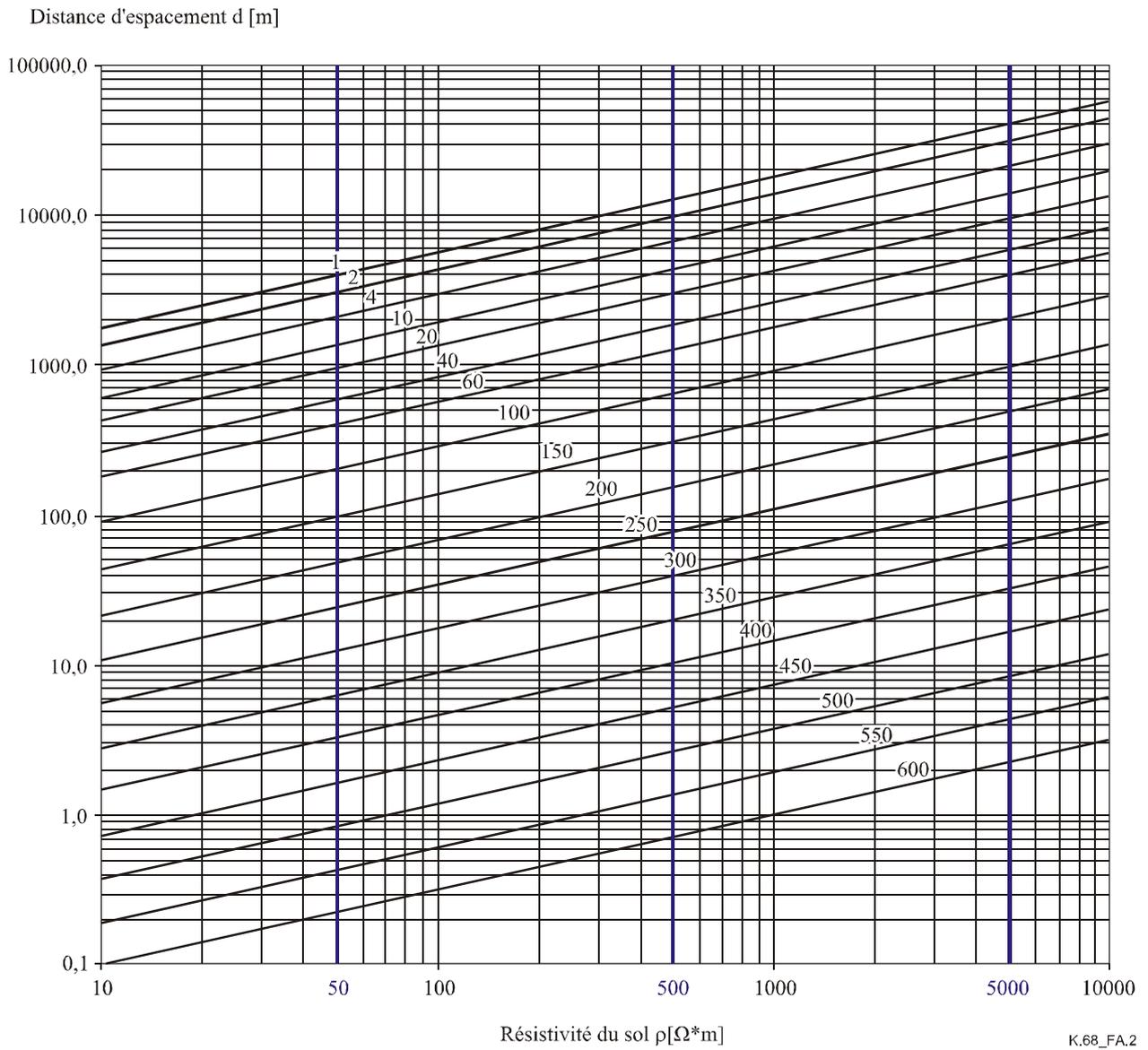
Lorsque la fréquence f et la résistivité du sol ρ sont choisies d'après les conditions réelles en présence, x sera indiqué en fonction de d par la formule (A-5). En substituant x dans (A-4) et en définissant $|z_m|$ à partir de (A-1) et (A-2), il est possible d'obtenir la relation entre $|z_m|$ et d . A partir de cette valeur de d , on peut calculer la valeur requise de RID. A toutes fins pratiques, ce calcul exigera un programme informatique spécialisé (appliquant par exemple des techniques de calcul par itération).

A.1.2.2 Détermination au moyen de diagrammes

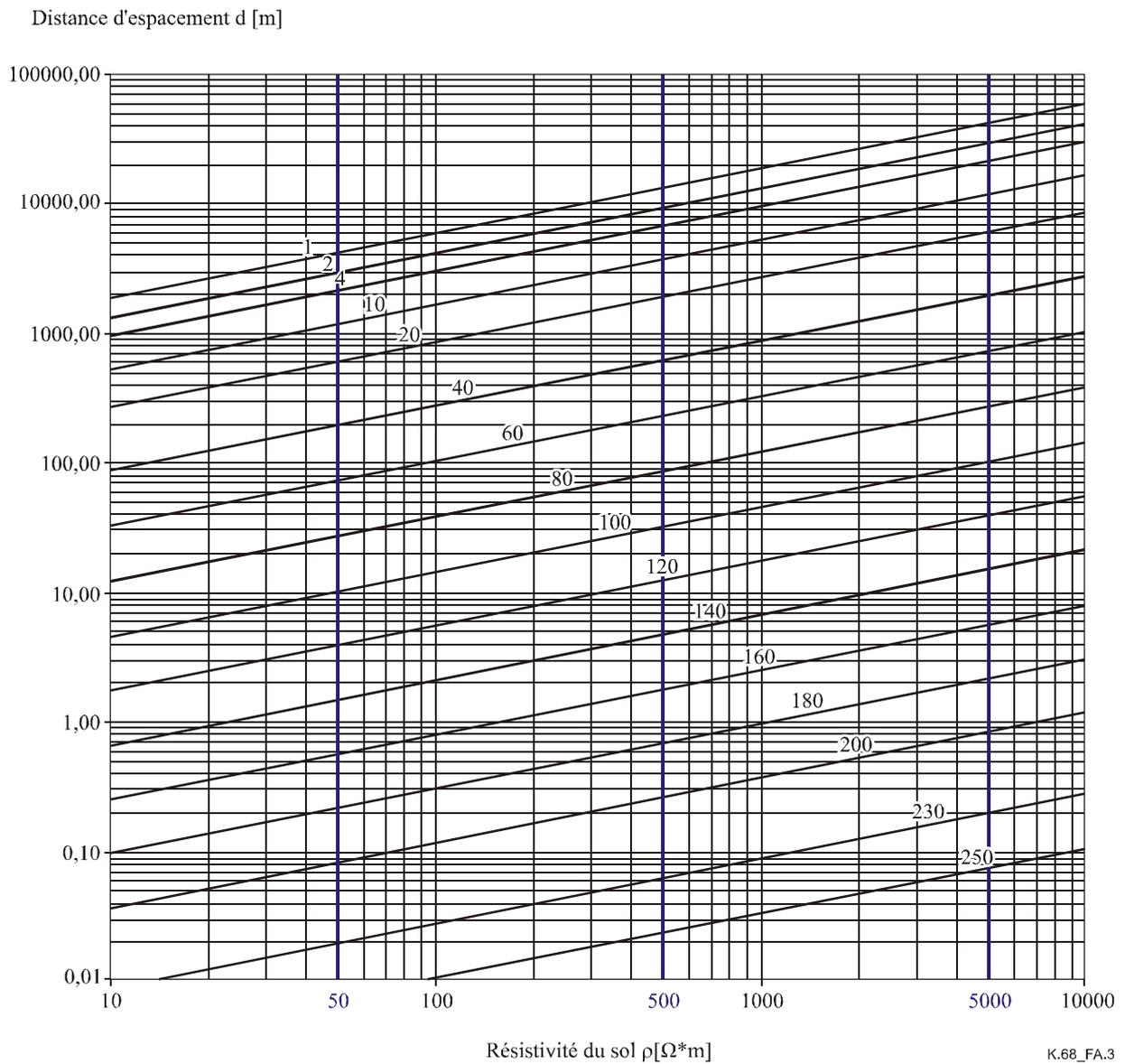
Les Figures A.1, A.2, A.3 et A.4 représentent différentes courbes qui indiquent la distance RID en fonction de la résistivité du sol et de la tension de gestion normalisée qui constitue les paramètres des courbes établies respectivement pour 50 Hz, 60 Hz, 16 $\frac{2}{3}$ Hz et 800 Hz. Ces diagrammes constituent un instrument graphique facile à utiliser permettant de déterminer la distance RID correspondant à une tension de gestion normalisée donnée u_m , par km et par kA, tirée de l'expression (A-1) de la valeur réelle de la résistivité spécifique du sol ρ en Ωm .



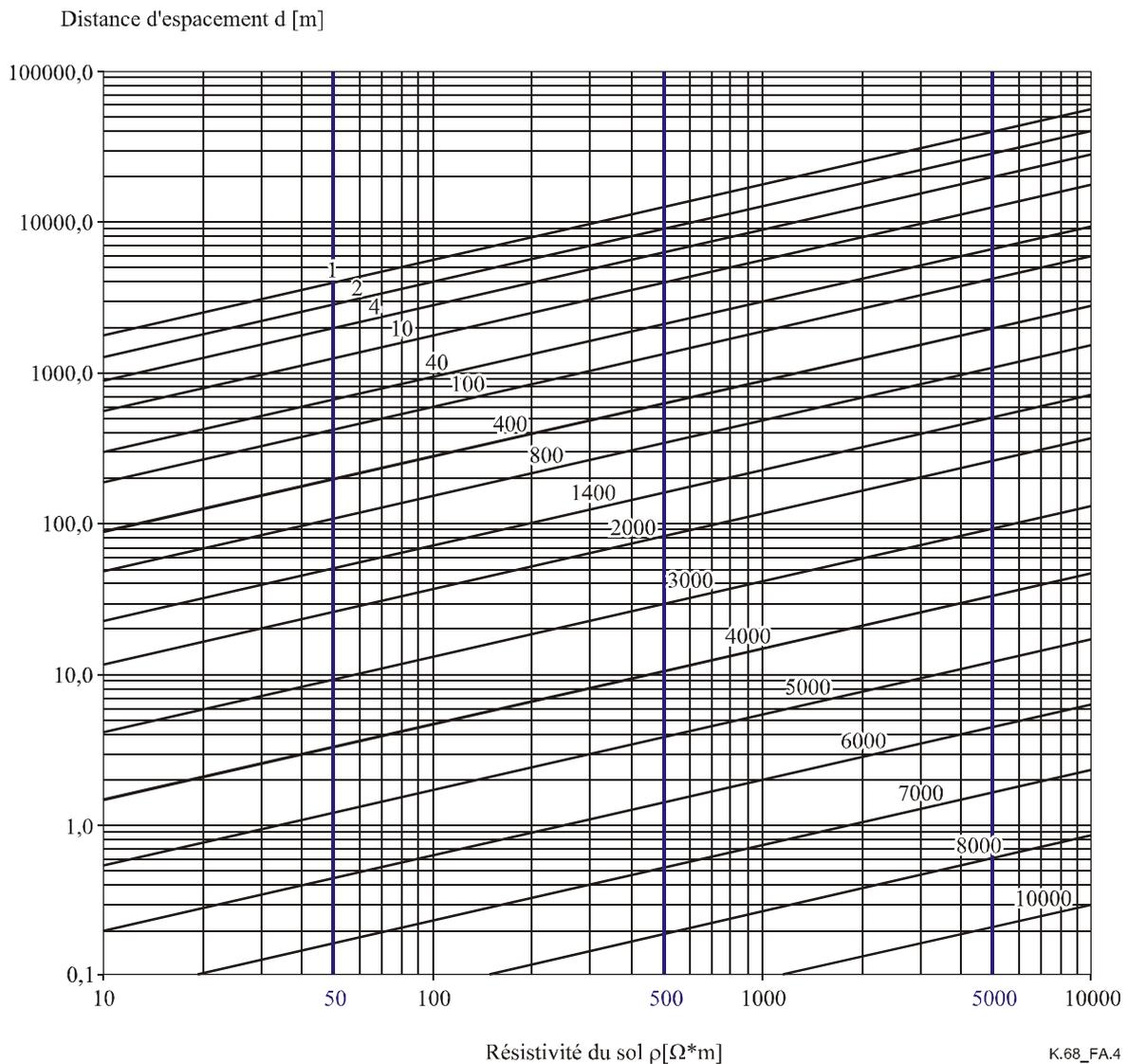
**Figure A.1/K.68 – Relation graphique entre la distance d'espacement et la résistivité du sol, aux tensions induites indiquées sur les courbes en [V/(km.kA)]
Fréquence: 50 [Hz]**



**Figure A.2/K.68 – Relation graphique entre la distance d'espacement et la résistivité du sol, aux tensions induites indiquées sur les courbes en [V/(km.kA)]
Fréquence: 60 [Hz]**



**Figure A.3/K.68 – Relation graphique entre la distance d'espacement et la résistivité du sol, aux tensions induites indiquées sur les courbes en [V/(km.kA)]
Fréquence: $16\frac{2}{3}$ [Hz]**



**Figure A.4/K.68 – Relation graphique entre la distance d'espacement et la résistivité du sol, aux tensions induites indiquées sur les courbes en [V/(km.kA)]
Fréquence: 800 [Hz]**

A.2 Couplage conductif

A.2.1 Calcul de la distance RID dans le cas d'une grille de mise à la terre de sous-station

L'intensité I_e du courant dans la résistance à la terre de la grille de terre d'une sous-station entraîne l'élévation de potentiel de la grille proprement dite (élévation de potentiel de l'électrode); pour cette raison, on constate une élévation de potentiel du sol (EPR, "tunnel de potentiel") au voisinage de la sous-station. Ce potentiel peut être transféré par couplage conductif vers l'installation induite à l'entrée de la sous-station ou vers le tunnel de potentiel à une distance inférieure à la distance RID en couplage conductif.

L'expression suivante [7] permet de calculer l'élévation de potentiel de la grille de terre:

$$U_e = R_e I_e = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} k_p I_p \quad [\text{V}] \quad (\text{A-6})$$

avec:

$$R_e = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad \text{résistance de terre de la grille (en } \Omega \text{)}$$

ρ résistivité spécifique du sol (en surface) (en $\Omega \cdot \text{m}$)

A superficie de la grille de terre (en m^2)

$I_e = k_p I_p$ courant de terre de la sous-station, c'est-à-dire fraction du courant de défaut qui passe de la grille à la terre en A

K_p facteur de courant de terre, définissant la fraction du courant de défaut qui passe de la grille à la terre (grandeur sans dimension)

I_p intensité du courant de défaut de type dissymétrique (composante homopolaire dans la sous-station en A).

Il y a lieu de signaler que l'élévation de potentiel de la sous-station augmente de façon linéaire en fonction de ρ et diminue en fonction inverse de la superficie de la grille de mise à la terre.

Le courant de terre I_e est égal à la différence entre le courant de défaut de la sous-station et le retour de courant par le conducteur neutre du ou des transformateurs de la sous-station par le ou les fils de terre de la ou des lignes électriques et par le ou les blindages du ou des câbles reliés à la sous-station. Les deux derniers termes peuvent être exprimés au moyen du facteur d'occultation des lignes concernées.

L'élévation du potentiel de sol EPR se caractérise par la distribution de potentiel $k(a)$, qui constitue par définition la valeur normalisée du potentiel de terre $V(a)$, la valeur de base étant le potentiel de grille U_e

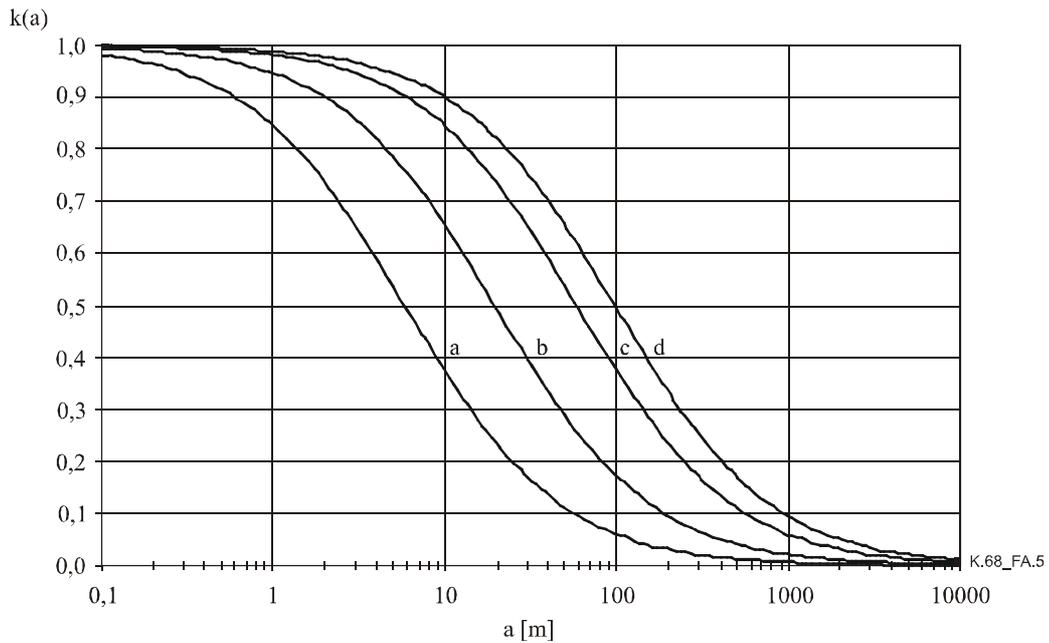
$$k(a) = \frac{V(a)}{U_e} \quad [-] \quad (\text{A-7})$$

avec $V(a)$ EPR à la distance a , mesurée à partir du bord de la grille.

La fonction de potentiel de terre peut s'exprimer par la relation suivante:

$$k(a) = 0,674 \ln \frac{a + 0,815\sqrt{A}}{a + 0,185\sqrt{A}} \quad [-] \quad (\text{A-8})$$

La fonction de distribution du potentiel de terre ($k(a)$) est représentée sous la forme d'une fonction de la distance a , mesurée à partir du bord de la grille de mise à la terre à la Figure A.5.



Désignation:	Surface de la grille [m ²]:
a	A = 225
b	A = 2500
c	A = 22500
d	A = 62500

Figure A.5/K.68 – Fonction $k(a)$ de distribution du potentiel de terre en fonction de la distance a à partir du bord de la grille de terre

A partir de l'expression (A-8) on peut exprimer a en fonction de $k(a)$ par la formule suivante:

$$a = \frac{0,815 - 0,185 \times 4,41^{k(a)}}{4,41^{k(a)} - 1} \sqrt{A} \quad [\text{m}] \quad (\text{A-9})$$

Le potentiel de terre $V(a)$, après diminution compte tenu des effets d'atténuation doit être égal à la tension de gestion U_m à une distance a correspondant à la distance de référence RID:

$$U_m = k_u k_t V(a) \quad [\text{V}] \quad (\text{A-10})$$

avec:

k_u facteur urbain

k_t facteur d'occultation de la ligne induite.

Si l'on exprime $V(a)$ à partir de la relation (A-10):

$$V(a) = \frac{U_m}{k_u k_t} \quad [\text{V}] \quad (\text{A-11})$$

Et enfin, si l'on remplace (A-6) et (A-11) dans (A-7) on obtient l'expression suivante pour $k(a)$:

$$k(a) = \frac{U_m}{\frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} I} = \frac{u_m}{U_e(A_k)} \quad [-] \quad (\text{A-12})$$

Formule dans laquelle u_m est la valeur normalisée de la tension de gestion correspondant au couplage conductif de la grille de terre d'une sous-station.

En utilisant la valeur $k(a)$ tirée de (A.12) on peut déterminer la distance RID égale à a soit à partir de la fonction de répartition du potentiel de terre représenté à la Figure A.5 soit d'après l'expression (A.9).

A.2.2 Calcul de la distance RID du dispositif de mise à la terre d'un pylône électrique

A.2.2.1 Ligne électrique sans fil-écran

L'élévation de potentiel du sol dans le cas d'une ligne électrique sans fil-écran est donnée par l'expression suivante applicable à l'électrode de terre hémisphérique:

$$U_e = R_e I_{p-ef} = \frac{\rho}{2\pi r_e} I_{p-ef} \quad [\text{V}] \quad (\text{A-13})$$

avec:

r_e rayon équivalent de la mise à la terre de la semelle du pylône (en m)

I_{p-ef} courant de défaut du court-circuit phase- terre (en ampère).

L'élévation de potentiel $V(a)$ se caractérise par la distribution de potentiel suivante correspondant à la configuration de semelle de pylône généralement utilisée, représentée par l'électrode de terre hémisphérique [7]:

$$V(a) = 2,9 \frac{U_e}{a} \quad [\text{V}] \quad (\text{A-14})$$

dans laquelle $V(a)$ est égale à l'élévation de potentiel du sol à une distance a mesurée à partir de l'axe de la semelle du pylône.

En exprimant la distance a et en considérant les expressions (A-10) et (A-11), c'est-à-dire si $V(a) = u_m$ alors la distance a depuis l'axe de l'électrode est égale à RID:

$$RID = a = 2,9 \frac{U_e}{V(a)} = 2,9 \frac{U_e}{\frac{U_m}{k_u k_t}} = 2,9 \frac{U_e}{u_m} \quad [\text{m}] \quad (\text{A-15})$$

Sinon, en substituant U_e tiré de la relation (A-13), la distance RID est donnée par l'expression:

$$RID = 2,9 \frac{\rho k_u k_t}{2\pi r_e U_m} I_{p-ef} \quad [\text{m}] \quad (\text{A-16})$$

A.2.2.2 Ligne électrique avec fil-écran

Dans le cas de lignes électriques munies de fil-écran, l'élévation de potentiel est déterminée par:

- l'importance du courant de défaut de terre;
- la résistance de terre moyenne des pylônes;
- la configuration des fils-écrans;
- l'espacement moyen.

Les valeurs de l'élévation de potentiel du pylône tirées des simulations sont indiquées pour les situations de référence définies au Tableau A.1 [7].

Elles peuvent être calculées à nouveau pour des courants différents de 10 kA proportionnellement à l'intensité du courant:

$$U_e = U_{10} \frac{I_{p-ef}}{10} \quad [\text{V}] \quad (\text{A-17})$$

où:

U_{10} est égal à l'élévation de potentiel du pylône pour les conditions de référence indiquées au Tableau A.1 (en V/10 kA)

I_{p-ef} est le courant du défaut de terre (en kA).

Tableau A.1/K.68 – Elévation de potentiel du pylône défectueux correspondant aux conditions et aux paramètres de référence pour un courant de défaut de terre de 10 kA

Résistance de terre [Ω]	Elévation de potentiel du pylône U_{10} , [V/10 kA]		
	Configuration fil-écran		
	1 sw [kV]	2 sw [kV]	1 sw + cp [kV]
8	4663	3237	872
25	8208	5589	2290
50	11413	7432	4316
sw fil-écran cp contrepoids			

Si l'on remplace U_e obtenu par la relation (A-17) dans la relation (A-15) la valeur de la distance RID est donnée par:

$$RID = 2,9 \frac{U_{10}}{u_m} \frac{I_{p-ef}}{10} = 2,9 k_u k_t \frac{U_{10}}{U_m} \frac{I_{p-ef}}{10} \quad [\text{m}] \quad (\text{A-18})$$

A.2.3 Calcul de la distance RID dans le cas du couplage conductif d'un système de traction électrique c.a.

Dans le cas d'un système de traction électrique c.a., le phénomène de couplage conductif est dû à l'élévation de potentiel du rail (potentiel d'électrode) observé aux emplacements d'injection ou de ponction du courant dans le rail, (par exemple, sur la rame, liaison avec le transformateur-suceur, emplacement de l'autotransformateur ou point d'alimentation).

L'élévation de potentiel du rail présente les caractéristiques suivantes:

- 1) dans une très large mesure elle dépend de la conductance de fuite rail terre G (diminue en fonction inverse de G);
- 2) elle est différente pour les systèmes à 50 Hz (plus élevée) et à 16 2/3 Hz (plus faible);
- 3) elle augmente en fonction de la longueur entre les points d'injection du courant dans le rail et de ponction du courant depuis le rail (cette caractéristique est observée uniquement jusqu'à une longueur inférieure ou double de celle de la zone dite d'effet d'extrémité de la boucle rail terre). Puisque l'élévation de potentiel du rail est inférieure dans le cas des systèmes d'alimentation spéciaux (autotransformateur ou transformateur-suceur) par comparaison aux systèmes monophasés à rail de retour simple (RR), en particulier dans le cas d'un faible espacement des dispositifs AT ou BT. La différence est d'environ 20% et il

n'en est pas tenu compte dans le calcul de la distance RID, ce qui se traduit par l'obtention des valeurs RID les plus élevées pour les systèmes d'alimentation spéciaux.

La Figure A.6 [8] illustre les caractéristiques indiquées en 1) et 2) ci-dessus.

Pour une valeur de référence $G = 0,25$ S/km du courant de fuite rail-terre, les potentiels de rail normalisés suivants tirés de la Figure A.6 s'appliquent [8]:

- $U_{e50} = 25$ V par 100 A pour 50 Hz et
- $U_{e16\frac{2}{3}} = 15$ V par 167 A pour $16\frac{2}{3}$ Hz.

Il convient de signaler que le courant de traction associé à une puissance de traction donnée par exemple, 2500 kVA se traduit par un potentiel de rail pratiquement identique dans les systèmes de traction à 25 kV et 15 kV, autrement dit dans le cas des réseaux à 25 kV, le courant est de 100 A et provoque une augmentation de potentiel de $1 \times 25V = 25$ V, tandis que pour les réseaux à 15 kV, le courant est de 167 A et crée un potentiel de rail de $1,67 \times 15$ V = 25,05 V.

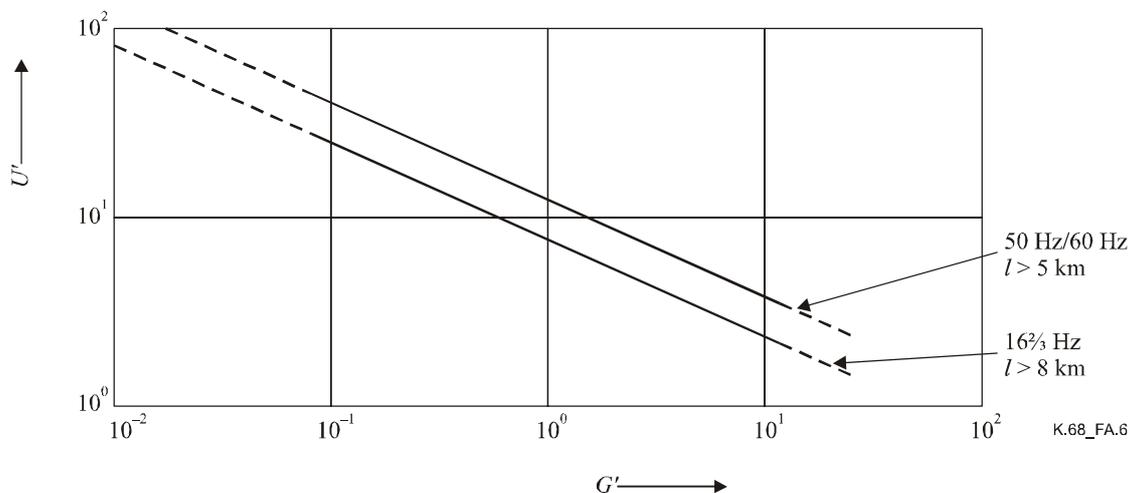


Figure A.6/K.68 – Valeurs indicatives du potentiel de rail normalisé U' (V par 100 A), dans un système de traction électrique c.a. par rapport à la conductance du courant de fuite rail-terre en S/km

Le potentiel de rail correspondant à une puissance de traction de S kVA est donné par la relation suivante:

$$U_e = U_{RE} = 25 \frac{S}{2500} = \frac{S}{100} \quad [\text{V}] \quad (\text{A-19})$$

La valeur normalisée de l'élévation de potentiel de sol EPR U_{PE} rapportée à la tension de base est le potentiel de rail U_{RE} ; elle est indiquée en fonction de la distance latérale a pour une ligne de traction électrique c.a. à double voie à la Figure A.7 [8].

Le potentiel de terre U_{PE} , une fois réduit compte tenu des effets atténuateurs, doit en principe être égal à la tension de gestion U_m à une distance a correspondant à la distance de référence RID:

$$U_m = k_u k_t U_{PE}(a) \quad [\text{V}] \quad (\text{A-20})$$

avec:

k_u facteur urbain

k_t facteur d'occultation de la ligne induite

Si l'on exprime $U_{PE}(a)$ au moyen de la relation (A-20):

$$U_{PE}(a) = \frac{U_m}{k_u k_t} \quad [\text{V}] \quad (\text{A-21})$$

Grâce aux relations (A-19) et (A-21) le rapport U_{PE}/U_{RE} peut s'exprimer comme suit:

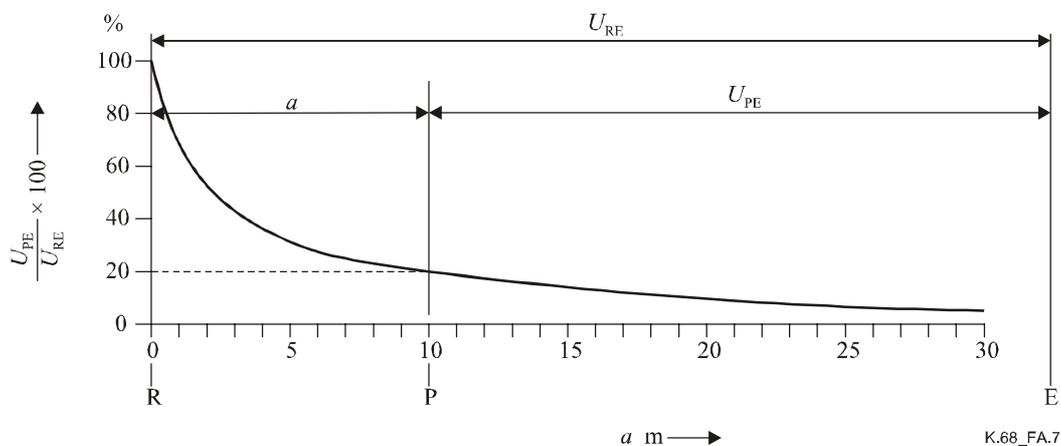
$$100 \frac{U_{PE}(a)}{U_{RE}} = \frac{10^4}{S} \frac{U_m}{k_u k_t} \quad [\%] \quad (\text{A-22})$$

avec:

U_m tension de gestion en V

S puissance de traction en kVA.

Il est possible de lire la valeur $RID = a$ sur la Figure A.7 si l'on utilise la valeur en pourcentage indiquée par la relation (A-22).



E = terre
P = point de mesure
R = rail
a = distance par rapport au rail

Figure A.7/K.68 – Valeur normalisée de l'élévation du potentiel du sol (EPR) U_{PE} rapporté au potentiel de rail U_{RE} , en fonction de la distance latérale a pour une ligne de traction électrique c.a. à double voie

Il y a lieu de signaler que la méthode ci-dessus suppose que la valeur contraignante de la distance RID résulte du courant d'exploitation et non du courant de court-circuit.

Appendice I

Facteur de pondération pour la détermination de la tension psophométrique pondérée

Les tableaux suivants indiquent les valeurs numériques des coefficients de pondération dans le domaine de fréquence allant de 16⅔ Hz à 6000 Hz, utilisé dans la définition de la tension pondérée psophométrique (voir définition au 3.32).

Fréquence [Hz]	Coefficient de pondération
16,66	0,056
50	0,71
100	6,91
150	35,5
200	89,1
250	178
300	295
350	376
400	484
450	582
500	661
550	733
600	794
650	851
700	902
750	955
800	1000
850	1035
900	1072
950	1109
1000	1122
1050	1109
1100	1072
1150	1035
1200	1000
1250	977
1300	955
1350	928
1400	905
1450	881
1500	861
1550	842

Fréquence [Hz]	Coefficient de pondération
1600	824
1650	807
1700	791
1750	775
1800	760
1850	745
1900	732
1950	720
2000	708
2050	698
2100	689
2150	679
2200	670
2250	661
2300	652
2350	643
2400	634
2450	626
2500	617
2550	607
2600	598
2650	590
2700	580
2750	571
2800	562
2850	553
2900	543
2950	534
3000	525
3100	501
3200	473
3300	444
3400	412
3500	376
3600	335
3700	292
3800	251
3900	214
4000	178
4100	144,5

Fréquence [Hz]	Coefficient de pondération
4200	116
4300	92,3
4400	72,4
4500	56,2
4600	43,7
4700	33,9
4800	26,3
5000	20,4
> 5000	15,9
> 6000	7,1

Appendice II

Valeurs des grandeurs affectant la distance d'influence de référence en couplage inductif

II.1 Valeurs indicatives

II.1.1 Généralités

Le présent appendice contient les valeurs indicatives des grandeurs affectant la distance d'influence de référence (RID) en couplage inductif (voir § A.1), sur lesquelles repose une estimation réaliste des valeurs RID.

Les valeurs indicatives peuvent être classées dans les grandes catégories suivantes:

- grandeurs qui caractérisent l'environnement électromagnétique;
- grandeurs qui caractérisent les installations inductrices;
- grandeurs qui caractérisent les installations induites.

Il existe d'autres classifications en fonction du type considéré d'installations et de leur état.

II.1.2 Grandeurs caractéristiques de l'environnement électromagnétique

Les grandeurs qui ne peuvent être associées aux installations inductrices ou aux installations induites puisqu'elles affectent le phénomène d'induction dans son ensemble sont classées dans cette catégorie.

II.1.2.1 Tension de gestion, U_m

La tension de gestion correspond à la valeur appropriée choisie parmi celles indiquées au § 6.

II.1.2.2 Résistivité spécifique du sol, ρ

En couplage inductif basse fréquence, la résistivité des couches profondes du sol (plusieurs centaines à plusieurs milliers de mètres de profondeur) présente une importance décisive en raison de la profondeur de pénétration dans le sous-sol.

A toutes fins pratiques, seules les valeurs indiquées au Tableau II.1 seront prises en compte dans la présente Recommandation.

Tableau II.1/K.68 – Valeurs indicatives de la résistivité du sol

	Résistivité du sol [$\Omega.m$]		
Valeur	50	500	5000 (Note)
Domaine de variation	10-150	150-1500	1500-15000 (Note)
NOTE – Pour les zones dont les couches profondes sont constituées de roches primitives.			

II.1.2.3 Facteur d'occultation des structures enfouies (facteur urbain), k_u

Dans les zones rurales les structures métalliques ont un effet global d'occultation. Ce phénomène peut être pris en compte par l'utilisation du facteur urbain k_u . Les valeurs proposées figurent au Tableau II.2.

Tableau II.2/K.68 – Valeurs indicatives du facteur urbain, k_u

	Environnement	
	Zone urbaine	Zone rurale
Facteur urbain k_u	0,1-0,4-0,7 (Note)	1,0
NOTE – Grande ville à forte résistivité du sol.		

Il convient de signaler que l'effet d'occultation dans les zones urbaines tend à s'affaiblir en raison de l'utilisation de moins en moins répandue du réseau métallique par les entreprises publiques.

II.1.3 Caractéristiques des installations inductrices

II.1.3.1 Valeurs indicatives concernant les installations d'alimentation électrique c.a.

II.1.3.1.1 Installations d'alimentation électrique avec conducteur neutre directement mis à la terre

Les réseaux directement mis à la terre sont des réseaux dont le conducteur neutre est directement mis à la terre ou par une faible impédance ou encore de réseaux associant ces deux types de configuration. Les réseaux haute tension (notamment les réseaux haute, extra-haute et ultra-haute tension) appartiennent à cette catégorie.

II.1.3.1.1.1 Courant inducteur

a) Courant de court-circuit phase-terre, I_{p-sc}

Dans les réseaux haute tension à conducteur neutre directement mis à la terre, un courant de court circuit phase-terre se traduit par un courant de défaut de terre élevé. Une partie importante du courant de défaut revient à la terre et provoque un phénomène d'induction dans les installations induites voisines. D'autre part, les défauts de terre de ces systèmes sont facilement détectés par les dispositifs de protection à relais et sont en général rapidement relevés (60 à 100 millisecondes).

L'importance du courant de défaut augmente directement avec la puissance de court-circuit de la sous-station d'alimentation et diminue avec la distance entre la sous-station et l'emplacement du défaut.

A toutes fins pratiques, les valeurs indicatives mentionnées au Tableau II.3 sont proposées dans le cas des courants de défaut affectant les lignes de réseau à conducteur neutre directement mis à la terre, lorsqu'on considère une résistance de défaut de terre de 0 Ω ou 15 Ω .

Tableau II.3/K.68 – Valeurs indicatives du courant de défaut de terre I_{p-ef} dans les lignes de réseau dont le conducteur neutre est directement mis à la terre

Résistance du défaut de terre [Ω]	Courant de défaut de terre [kA]		
	Défaut très éloigné, faible puissance de court-circuit	Conditions intermédiaires	Défaut rapproché forte puissance de court-circuit
0	10	20	40
15	7	10	15

b) *Courant de court-circuit phase terre sur une ligne haute tension à 16 $\frac{2}{3}$ Hz, I_{p-sc}*

Dans le cas des réseaux biphasés haute tension à 16 $\frac{2}{3}$ Hz (généralement 110-130 (2x65) kV), qui alimentent des systèmes de traction électrique, le courant inducteur de référence est également le courant de court-circuit phase-terre. Le Tableau II.4 indique les valeurs indicatives du courant de défaut de terre I_{p-rw} sur les lignes de transport haute tension biphasée alimentant des systèmes ferroviaires à 16 $\frac{2}{3}$ Hz.

Tableau II.4/K.68 – Valeurs indicatives du courant de défaut de terre I_{p-rw} sur les ligne de transport HT biphasées alimentant un système ferroviaire à 16 $\frac{2}{3}$ Hz

Type d'alimentation du système ferroviaire HT à 16 $\frac{2}{3}$ Hz	Courant de défaut de terre I_{p-rw} [kA]
Alimenté uniquement par transformateur-convertisseur 50/16 $\frac{2}{3}$ Hz	3-5-8
Alimenté par générateur 16 $\frac{2}{3}$ Hz	4-10-30

c) *Courant de défaut de terre à travers une impédance élevée, I_{p-imp}*

Dans certains cas, une ligne de réseau HT à conducteur neutre directement mis à la terre peut donner lieu à un courant de défaut de terre à une forte impédance, par exemple en créant un arc électrique vers des arbres. Ce phénomène peut produire des courants de défaut de terre de faible amplitude; or, les dispositifs de protection de base ne permettent pas de détecter et de relever rapidement ce type de défaut. Ainsi, la durée d'un courant de défaut à forte impédance pouvant atteindre plusieurs secondes, des valeurs limites de durée supérieure à 1 s sont applicables. Le Tableau II.5 donne des valeurs indicatives du courant de défaut de terre d'une ligne HT I_{p-imp} pour une impédance de défaut élevée.

Tableau II.5/K.68 – Valeurs indicatives du courant de défaut de terre d'une ligne HT I_{p-imp} dans le cas d'un courant de défaut à forte impédance

	Courant de défaut de terre à forte impédance
Courant de défaut de terre, kA	1,5

d) *Courant de défaut, I_{p-off} , avec une phase hors circuit*

Une ligne haute tension d'un réseau dont le conducteur neutre est directement mis à la terre peut fonctionner en présence d'un défaut caractérisé par la mise hors circuit d'une phase. Ce type de fonctionnement est généralement limité aux réseaux fonctionnant sous 110-130 kV. (En pratique cela intervient lorsque le disjoncteur ne se referme pas sur une phase lors de la mise en circuit de la ligne.) Ce type de fonctionnement défectueux peut parfois durer plusieurs heures. En l'occurrence,

le courant de retour de terre se substitue à la phase hors circuit, de sorte que le courant de terre est pratiquement identique au courant circulant dans les phases exemptes de défaut. En fonctionnement avec une phase hors circuit, la puissance transportée et donc le courant sont limités à une proportion de 70 à 80% de la charge normalement admise.

A toutes fins pratiques, les valeurs contenues dans le Tableau II.6 sont proposées pour le courant de défaut circulant dans des lignes exploitées avec une phase hors circuit.

Tableau II.6/K.68 – Valeurs indicatives du courant de défaut dans une ligne exploitée avec une phase hors circuit, I_{p-off}

	Transport d'énergie électrique		
	Faible puissance (20 MVA) (Note)	Puissance moyenne (60 MVA) (Note)	Puissance élevée (120 MVA) (Note)
Courant inducteur A	100	300	600
NOTE – Pour une tension de l'ordre de 110-130 kV.			

Le phénomène inductif créé par le courant avec une phase hors circuit doit être considéré comme une induction de longue durée à laquelle s'applique la tension de gestion associée au fonctionnement normal.

II.1.3.1.1.2 Facteur d'occultation, k_p

Les structures d'occultation associées à l'installation inductrice, c'est-à-dire le fil-écran d'une ligne électrique aérienne et le blindage d'un câble électrique souterrain font office de retour de courant et, par conséquent, réduisent la fraction du courant de retour à travers le sol, dans une proportion exprimée par le facteur d'occultation.

a) Facteur d'occultation des fils-écrans des lignes électriques aériennes

Le Tableau II.7 présente des valeurs indicatives du facteur d'occultation des fils-écrans des lignes électriques aériennes.

Tableau II.7/K.68 – Valeurs indicatives du facteur d'occultation des fils-écrans de lignes électriques aériennes

Fil-écran	Résistance des fils-écrans en [Ω /km]		
	< 0,1	< 0,5	< 1,0 (Note)
Simple	0,55-0,70	0,65-0,75	0,80-0,90
Double	0,40-0,50	0,5-0,65	0,65-0,75
NOTE – Filins d'acier.			

b) Facteur d'occultation du blindage des câbles électriques HT

Dans le cas des câbles électriques HT des proportions très élevées du courant de défaut de terre reviennent par le blindage du câble en raison du couplage étroit entre le conducteur et le blindage. Ainsi, le blindage d'un câble haute tension fournit d'excellents coefficients d'occultation (faible valeur).

Le Tableau II.8 présente des valeurs indicatives du coefficient d'occultation du blindage de câbles électriques HT.

**Tableau II.8/K.68 – Valeurs indicatives du coefficient d'occultation
du blindage de câbles électriques HT**

	Type de blindage	
	Blindage au plomb	Blindage d'aluminium ou écran concentrique en fil de cuivre
Facteur d'occultation	0,15-0,25-0,30	0,04-0,1-0,15

II.1.3.1.2 Installations électriques sans conducteur neutre directement mis à la terre

En premier lieu, il y a lieu de signaler que dans certaines zones, selon la politique appliquée en matière de mise à la terre du neutre, le conducteur neutre est directement mis à la terre quel que soit le réseau considéré (tel est le cas par exemple, en Amérique du Nord).

Les réseaux dont le neutre n'est pas directement mis à la terre peuvent présenter les trois caractéristiques suivantes:

- 1) neutre isolé;
- 2) neutre à dispositif résonnant de mise à la terre;
- 3) neutre à dispositif à forte impédance (généralement une résistance) de mise à la terre.

L'option 1 est généralement utilisée sur les réseaux des installations industrielles, mais non dans celui des réseaux publics de distribution.

L'option 2 est généralement utilisée dans les réseaux ruraux de distribution moyenne tension constitués de lignes aériennes. Ce type de réseau peut également être mis à la terre temporairement (deux secondes) par une résistance connectée entre le neutre et la terre permettant ainsi au relais de protection d'identifier sélectivement la ligne défectueuse.

L'option 3 est utilisée dans le cas des câbles moyenne tension ou sur les réseaux urbains ou suburbains associant câbles et lignes aériennes, avec un courant de défaut de terre capacitif élevé; alors, la probabilité d'auto-extinction du courant de terre devient très faible, en dépit de la mise à la terre résonnante.

II.1.3.1.2.1 Courant inducteur

a) *Courant de défaut de terre, I_{p-sef}*

Le défaut de terre est le défaut type des réseaux dont le neutre n'est pas directement mis à la terre. Puisqu'il ne s'agit pas d'un défaut de type court-circuit, le courant de défaut est encore plus faible que le courant d'exploitation. Tel est en particulier le cas sur les réseaux avec mise à la terre résonnante. Aussi, l'induction créée par le courant de défaut de terre des réseaux avec mise à la terre résonnante n'est-elle pas prise en considération.

Le courant de défaut de terre sur les réseaux avec mise à la terre à forte impédance/résistance, reste faible. Sa valeur dépend de l'importance de l'impédance de mise à la terre, de la distance du défaut par rapport à la sous-station d'alimentation et de l'impédance du défaut (arc et résistance de terre). Le Tableau II.9 donne des valeurs indicatives du courant de défaut de terre sur les réseaux avec mise à la terre à forte impédance/résistance.

La durée du courant de terre est de l'ordre de moins d'une seconde. Les tensions de gestion associées aux durées de moins d'une seconde sont donc applicables.

Tableau II.9/K.68 – Valeurs indicatives du courant de défaut de terre I_{p-sef} sur les réseaux avec mise à la terre à forte impédance/résistance

Importance de l'impédance/résistance de la mise à la terre du neutre	Courant de défaut de terre I_{p-sef} [A]
Elevée Réseaux mixtes aériens – câbles	70-100-150
Moyennement élevé Réseaux câblés	150-250-40

b) *Courant de double défaut de terre, I_{p-dbf}*

Le double défaut de terre, c'est-à-dire la présence simultanée de défauts de terre dans deux phases à des emplacements différents, constitue un défaut moins fréquent; il est néanmoins responsable de courants de défaut nettement plus élevés, dont la composante homopolaire revient par le chemin de mise à la terre entre les deux points défectueux. L'importance de ce courant de double défaut de terre dépend des éléments suivants:

- 1) la puissance de court-circuit de la sous-station qui alimente le défaut (la valeur maximale du courant de double défaut de terre pourrait théoriquement atteindre 86% du courant de court-circuit triphasé);
- 2) l'impédance par unité de longueur de la ligne électrique concernée sur le trajet du défaut;
- 3) la distance entre les deux points défectueux;
- 4) les impédances de défaut (arc plus résistance de mise à la terre) aux points défectueux. (Ces impédances pourraient être très élevées s'il s'agit d'un défaut de ligne aérienne sur poteaux non munis de fils-écrans.)

Le Tableau II.10 donne les valeurs indicatives du courant de double défaut de terre I_{p-dbf} sur des réseaux munis d'un conducteur neutre non directement mis à la terre.

Tableau II.10/K.68 – Valeurs indicatives du courant de double défaut de terre I_{p-dbf} sur des réseaux avec conducteur neutre non directement mis à la terre

	Type de ligne défectueuse	
	Lignes aériennes	Câbles
Courant de double défaut de terre [kA]	1-2,5-5	2-4-7

En règle générale, un double défaut de terre est relevé au bout d'un bref laps de temps ($t < 0,2$ s), sauf pour les courants de double défaut de terre de faible amplitude ($I_{p-dbf} < 1,5$ kA); en l'occurrence, le délai de déclenchement peut atteindre plusieurs secondes, de telle sorte que les valeurs limites de tension pour des durées de plus d'une seconde sont alors applicables.

II.1.3.1.2.2 Facteur d'occultation du blindage de câbles électriques moyenne tension

Le Tableau II.11 donne des valeurs indicatives du facteur d'occultation du blindage des câbles électriques moyenne tension.

Tableau II.11/K.68 – Valeurs indicatives du facteur d'occultation du blindage des câbles électriques moyenne tension

Type de blindage	Facteur d'occultation, k_p
Feuille d'aluminium mince	0,7-0,8-0,9
Blindage de plomb	0,4-0,5-0,6
Blindage d'aluminium ou toile de fil de cuivre concentrique	0,15-0,2-0,3

II.1.3.2 Valeurs indicatives concernant les installations de traction électrique c.a.

II.1.3.2.1 Courant d'exploitation

Dans le cas des réseaux de traction électrique c.a., le rapport du courant de court-circuit à la valeur maximale du courant d'exploitation est généralement inférieur au rapport des tensions de gestion relatives aux inductions de courte durée et de longue durée. Par conséquent, la distance d'influence de référence pour le couplage inductif doit être défini en fonction de l'induction créée par le courant d'exploitation.

Le Tableau II.12 présente les valeurs indicatives pour le courant d'exploitation I_{p-rw} des réseaux ferroviaires électrifiés c.a. Ces courants correspondent sensiblement à une puissance tractrice de crête d'environ 20 000 kVA.

Tableau II.12/K.68 – Valeurs indicatives relatives au courant d'exploitation I_{p-rw} des réseaux ferroviaires électriques c.a.

Réseau d'alimentation	Courant d'exploitation [A]	
	Alimentation unilatérale	Alimentation bilatérale
16 $\frac{2}{3}$ Hz, 15 kV	(600)	1200
50 Hz, 25 kV	800	–

II.1.3.2.2 Courant psophométrique

Le Tableau II.13 présente des valeurs indicatives du courant psophométrique I_{p-ps} des réseaux ferroviaires électrifiés c.a.

Tableau II.13/K.68 – Courant psophométrique I_{p-ps} de réseaux ferroviaires électrifiés c.a.

Type de motrice	Courant perturbateur équivalent (psophométrique) [A]
Motrice à convertisseur de fréquence et moteur asynchrone	1,5
Locomotive à diode (thyristor) avec filtre	4
Locomotive à commande mixte par thyristor et par diode sans filtre	16

Le couplage inductif dû au courant psophométrique est à prendre en compte uniquement sur le réseau d'accès, c'est-à-dire sur une ligne courte.

II.1.3.2.3 Facteur d'occultation des rails de retour

Dans le cas du système d'alimentation simple, avec rail et conducteur de retour (RR), le Tableau II.14 donne les valeurs indicatives du facteur d'occultation relatif aux rails k_{p-rr} des réseaux ferroviaires électrifiés c.a., avec rail et conducteur de retour de terre.

Tableau II.14/K.68 – Valeurs indicatives du facteur d'occultation des rails k_{p-rr} des réseaux ferroviaires électrifiés c.a., avec rail et retour par la terre (système RR)

Système d'alimentation	Fréquence d'exploitation [Hz]		
	16 $\frac{2}{3}$	50 ou 60	800
Facteur d'occultation (Note)	0,4	0,50	0,55
NOTE – Ligne à voie unique avec double rail de retour.			

II.1.3.2.4 Facteur de compensation équivalent pour les systèmes d'alimentation spéciaux

Les systèmes d'alimentation ferroviaire spéciaux tels que le système à transformateur-suceur avec rail de retour (BTRR) ou les systèmes à conducteur de retour (BTRC) et à autotransformateur (AT) réduisent les phénomènes d'induction à l'aide d'un dispositif relativement complexe.

Le facteur de compensation applicable à une section de la ligne inductrice entre deux transformateurs-suceurs ou autotransformateurs voisins est différent dans les deux cas suivants:

- 1) section induite à l'intérieur de la tranche;
- 2) section induite à l'extérieur de la tranche.

Le Tableau II.15 présente les valeurs indicatives des facteurs de compensation relatifs aux systèmes d'alimentation spéciaux.

Tableau II.15/K.68 – Valeurs indicatives des facteurs de compensation relatifs aux systèmes d'alimentation spéciaux

Courant inducteur	Fréquence [Hz]	Facteur de compensation k_p	
		Longueur induite	
		A l'intérieur de la tranche	A l'extérieur de la tranche
Fréquence fondamentale	16 $\frac{2}{3}$ Hz	0,1	0,04
	50 Hz	0,15	0,05
Fréquence psophométrique	(800 Hz)	0,25	0,06

II.1.4 Grandeurs caractéristiques des installations induites

II.1.4.1 Facteur d'occultation des câbles de télécommunication induits

A des fins d'identification de la distance d'influence de référence le facteur d'occultation k_t , le blindage des câbles de télécommunication induit est indiqué dans trois catégories au Tableau II.16.

Le facteur d'occultation des lignes nues ou de câbles non blindés est égal à un.

Tableau II.16/K.68 – Valeurs indicatives du facteur d'occultation k_t du blindage des câbles de télécommunication induits

	Type de blindage		
	Blindage plastique avec mince feuille d'aluminium $R_{dc} > 2,5 \Omega/\text{km}$	Blindage de plomb $R_{dc} < 0,5 \Omega/\text{km}$	Blindage d'aluminium ou toile de fil de cuivre concentrique $R_{dc} < 0,1 \Omega/\text{km}$
Facteur d'occultation	> 0,9	< 0,5	< 0,15

II.1.4.2 Longueurs de référence de ligne induite

Le Tableau II.17 présente des valeurs indicatives concernant les longueurs de référence l_m des câbles de télécommunication induits, utilisées dans différents types de réseaux de télécommunication.

**Tableau II.17/K.68 – Valeurs indicatives des longueurs induites l_m
de différents types de câbles de télécommunication induits**

Environnement	Longueurs induites [km]	
	Type de réseau de télécommunication	
	Lignes courtes (par exemple réseau d'accès) (Note)	Lignes longues (par exemple réseau interurbain)
Zone rurale	3-5-7	10-15-20
Zone urbaine	1-3-5	5-10-15

NOTE – Applicable à des courtes sections de câbles ferroviaires induits par des systèmes d'alimentation de type BT ou AT.

II.2 Valeurs des paramètres applicables à l'évaluation de la distance ID: couplage inductif

D'après les données indicatives mentionnées au § II.1, les valeurs de la distance RID mentionnées au § 5.2 ont été évaluées sur la base des valeurs suivantes des paramètres:

- Facteur urbain k_u caractéristique de l'effet global d'occultation de l'environnement:
 - environnement rural: $k_u = 1$
 - environnement urbain: $k_u = 0,45$ pour $\rho = 50 \Omega\text{m}$
 $k_u = 0,35$ pour $\rho = 500 \Omega\text{m}$
 $k_u = 0,25$ pour $\rho = 5000 \Omega\text{m}$
- La longueur induite l_m :
 - lignes courtes en zone rurale: $l_m = 5$ km
 - lignes courtes en zone urbaine: $l_m = 3$ km
 - lignes longues en zone rurale: $l_m = 15$ km
 - lignes longues en zone urbaine: $l_m = 10$ km
- Classes de résistivité du sol:
 - classe de faible résistivité: $\rho = 50 \Omega\text{m}$
 - classe de résistivité moyenne: $\rho = 500 \Omega\text{m}$
 - classe de résistivité élevée: $\rho = 5000 \Omega\text{m}$
- Facteur d'occultation de l'installation inductrice k_p :
 - ligne électrique c.a. HT:
 - ligne aérienne à 50/60 Hz: $k_p = 0,5$
 - ligne souterraine à 50/60 Hz: $k_p = 0,1$
 - ligne aérienne à 16 $\frac{2}{3}$ Hz: $k_p = 0,75$
 - ligne électrique c.a. MT:
 - ligne aérienne à 50/60 Hz: $k_p = 1$
 - ligne souterraine à 50/60 Hz: $k_p = 0,5$
 - ligne de traction électrique c.a.:
 - ligne aérienne, système d'alimentation RR à 50 Hz: $k_p = 0,5$
 - ligne aérienne, système d'alimentation RR à 16 $\frac{2}{3}$ Hz: $k_p = 0,4$
 - ligne aérienne, système d'alimentation RR à 800 Hz: $k_p = 0,55$
 - ligne aérienne, système spécial d'alimentation à 16 $\frac{2}{3}$ Hz: $k_p = 0,1$

- ligne aérienne, système spécial d'alimentation à 50 Hz: $k_p = 0,15$
- ligne aérienne, système spécial d'alimentation à 800 Hz: $k_p = 0,25$
- facteur d'occultation de l'installation induite k_t :
 - ligne non blindée $k_t = 1$

Les valeurs du courant inducteur ont été évaluées dans la situation réaliste la plus défavorable pour un système électrique c.a. et pour un système de traction électrique c.a.; ces valeurs sont signalées au Tableau II.18 avec les tensions de gestion correspondantes U_m .

NOTE – On suppose que les courbes de la Figure A.1 sont valables même pour une fréquence de 60 Hz.

**Tableau II.18/K.68 – Tension de gestion et courant inducteur
pour l'évaluation de la distance RID**

Systeme électrique à 50/60 Hz	Situation	U_m [V]	I_p [kA]	Remarque
Réseau HT avec neutre directement mis à la terre	Type	1000	10	Situation identique ou de dangerosité moindre par comparaison au défaut de terre à forte impédance
	Dangereuse	430		
Défaut de terre à forte impédance de réseau HT avec neutre directement mis à la terre	Type	150	1,5	Valeurs de la distance RID calculée indiquées au § 5.2
	Dangereuse	60		
Une phase hors circuit du réseau HT avec neutre directement mis à la terre	Type/ Dangereuse	60	0,3	Situation de dangerosité moindre
Défaut de terre de réseau MT sans conducteur neutre directement mis à la terre: ligne aérienne	Type	430	0,1	Valeurs calculées du RID indiquées au § 5.2
	Dangereuse	300		
Défaut de terre de réseau MT sans conducteur neutre directement mis à la terre: ligne souterraine	Type	430	0,25	Situation de dangerosité moindre par comparaison à la ligne souterraine
	Dangereuse	300		
Double défaut de terre de réseau MT sans conducteur neutre directement mis à la terre: ligne aérienne	Type	430	2,5	Situation non prise en compte en raison de la faible probabilité de cet évènement
	Dangereuse	300		
Double défaut de terre de défaut MT sans conducteur neutre directement mis à la terre: ligne souterraine	Type	430	4	
	Dangereuse	300		
Systeme électrique c.a. à 16²/₃ Hz				
Court-circuit phase-terre de réseau ferroviaire HT (2x65 kV) à 16 ² / ₃ Hz, avec point milieu directement mis à la terre	Type	1000	5	Uniquement ligne aérienne en zone rurale
	Dangereuse	300		
Systeme de traction électrique c.a.				
Courant d'exploitation de la ligne de traction électrique	Type/ Dangereuse	60	1,2	Systeme à 16 ² / ₃ Hz
			0,8	Systeme à 50 Hz

**Tableau II.18/K.68 – Tension de gestion et courant inducteur
pour l'évaluation de la distance RID**

Système électrique à 50/60 Hz	Situation	Um [V]	Ip [kA]	Remarque
Courant psophométrique (800 Hz) de motrice avec invertisseur de fréquence et moteur asynchrone	Type/ Dangereuse	0,2	0,0015	Situation de dangerosité moindre par comparaison à l'induction à la fréquence industrielle
Courant psophométrique (800 Hz) de locomotive à diode (thyristor) munie d'un filtre			0,004	Situation de dangerosité plus importante par comparaison à l'induction à la fréquence industrielle
Courant psophométrique (800 Hz) de locomotive à commande par thyristor et à diode sans filtre			0,015	Situation de dangerosité plus importante par comparaison à l'induction à la fréquence industrielle

II.3 Valeurs des paramètres d'évaluation de la distance RID: couplage conductif

D'après les données indicatives mentionnées au § II.1, les valeurs de la distance RID signalées au § 5.2.4 ont été évaluées sur la base des valeurs suivantes des paramètres:

- le facteur urbain k_u caractéristique de l'effet global d'occultation de l'environnement:
 - environnement rural: $k_u = 1$
 - environnement urbain: $k_u = 0,45$ pour $\rho = 50 \Omega\text{m}$
 $k_u = 0,35$ pour $\rho = 500 \Omega\text{m}$
 $k_u = 0,25$ pour $\rho = 5000 \Omega\text{m}$
- classe de résistivité du sol:
 - classe de faible résistivité: $\rho = 50 \Omega\text{m}$
 - classe de résistivité moyenne: $\rho = 500 \Omega\text{m}$
 - classe de résistivité élevée: $\rho = 5000 \Omega\text{m}$
- sous-stations:
 - dimensions de la grille de mise à la terre et courant de défaut associé:
 - $A = 225 \text{ m}^2$ $I_p = 10 \text{ kA}$;
 - $A = 2500 \text{ m}^2$ $I_p = 15 \text{ kA}$;
 - $A = 22500 \text{ m}^2$ $I_p = 20 \text{ kA}$;
- pylône électrique:
 - courant de défaut de 10 kA associé aux valeurs suivantes de la résistance de terre du pylône:
 - $\rho = 50 \Omega\text{m}$ $R_E = 8 \Omega$
 - $\rho = 500 \Omega\text{m}$ $R_E = 25 \Omega$
 - $\rho = 5000 \Omega\text{m}$ $R_E = 50 \Omega$

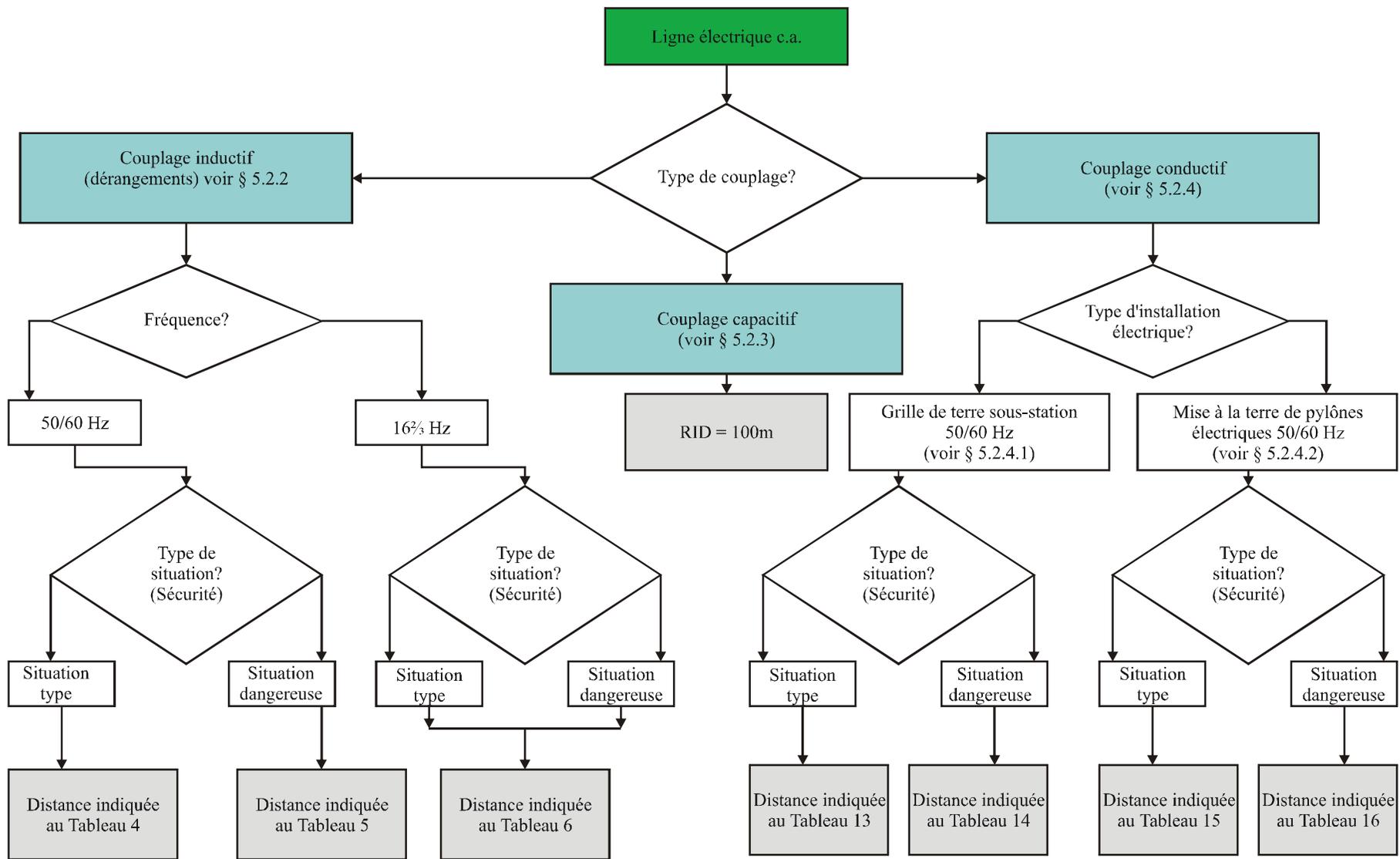
- facteur d'occultation de l'installation inductrice k_p :
 - ligne électrique c.a. HT:
 - ligne aérienne à 50/60 Hz: $k_p = 0,5$
 - ligne mixte (aérienne et souterraine) à 50/60 Hz: $k_p = 0,2$
 - ligne souterraine à 50/60 Hz: $k_p = 0,1$
 - ligne aérienne à 16 $\frac{2}{3}$ Hz: $k_p = 0,75$
- courant d'exploitation I_p :
 - ligne de traction c.a.:
 - courant d'exploitation à 50 Hz: $I_p = 800$ A
 - courant d'exploitation à 16 $\frac{2}{3}$ Hz: $I_p = 1200$ A

NOTE – On utilise les mêmes valeurs du courant d'exploitation dans le cas des systèmes d'alimentation simples et spéciaux.
- tension de gestion U_m :
 - ligne électrique à 50/60 Hz en situations types $U_m = 1000$ V
 - ligne électrique à 50/60 Hz en situations dangereuses $U_m = 430$ V
 - ligne de traction à 50/60 Hz ou 16 $\frac{2}{3}$ Hz dans une situation type et dans une situation dangereuse $U_m = 60$ V
- facteur d'occultation de l'installation induite k_t :
 - ligne non blindée $k_t = 1$

Appendice III

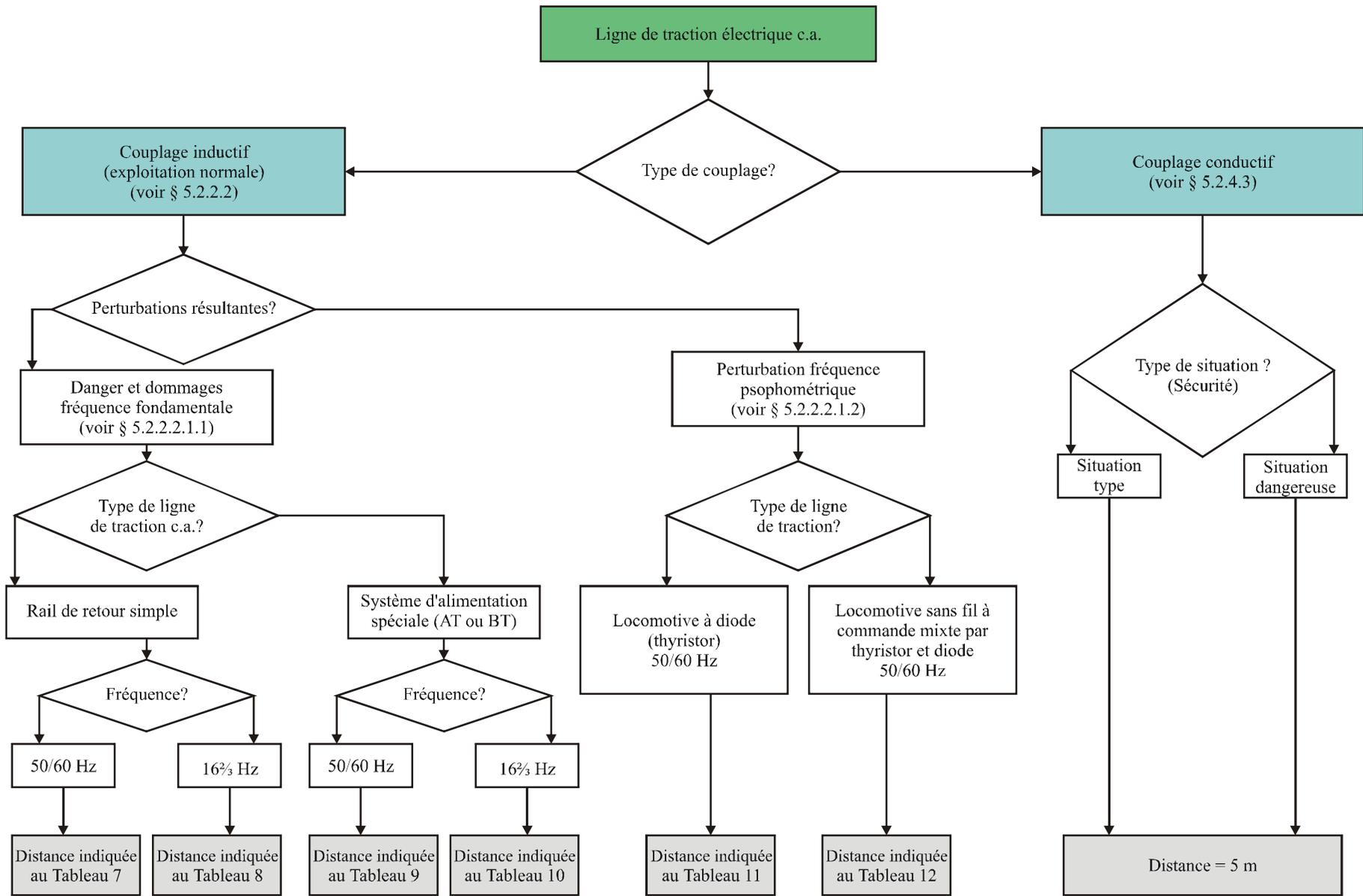
Etapas de détermination des valeurs de la distance RID liées à une ligne électrique c.a. ou à une ligne de traction électrique

La Figure III.1 et la Figure III.2 indiquent les différentes étapes de détermination des valeurs de la distance RID dans le cas d'une ligne électrique c.a. ou d'une ligne de traction électrique c.a.



K.68_FIII.1

Figure III.1/K.68 – Diagramme de détermination des valeurs de la distance RID associée à une ligne électrique c.a.



K.68_FIII.2

Figure III.2/K.68 – Diagramme de détermination des valeurs de la distance RID associée à une ligne de traction électrique c.a.

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série D	Principes généraux de tarification
Série E	Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
Série G	Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques
Série H	Systèmes audiovisuels et multimédias
Série I	Réseau numérique à intégration de services
Série J	Réseaux câblés et transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	Gestion des télécommunications y compris le RGT et maintenance des réseaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le réseau téléphonique
Série X	Réseaux de données, communication entre systèmes ouverts et sécurité
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information, protocole Internet et réseaux de prochaine génération
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication