

NORME INTERNATIONALE

**Systemes de communication sur lignes d'énergie pour les applications des
compagnies d'électricité –
Partie 1: Conception des systèmes à courants porteurs de lignes d'énergie
analogiques et numériques fonctionnant sur des réseaux d'électricité HT**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED
Copyright © 2025 IEC, Geneva, Switzerland

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC -
webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications, symboles graphiques et le glossaire. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 500 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 25 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	8
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives.....	10
3 Termes, définitions et abréviations	10
3.1 Termes et définitions.....	10
3.2 Abréviations.....	17
4 Systèmes de communication à courant porteur sur ligne d'énergie.....	18
4.1 Généralités	18
4.2 Lignes d'énergie électrique haute tension.....	20
4.3 Lignes d'énergie électrique comme support de transmission	21
4.3.1 Système de couplage	21
4.3.2 Configuration de couplage pour lignes aériennes HT	26
4.3.3 Câble de connexion.....	29
4.4 Systèmes CPL analogiques et numériques	29
4.4.1 Terminaux APLC.....	29
4.4.2 Terminaux DPLC	30
4.5 Schémas de modulation dans CPL HT	34
4.5.1 Généralités	34
4.5.2 AM-SSB.....	34
4.5.3 QAM.....	34
4.5.4 OFDM.....	35
4.5.5 Autres schémas de modulation.....	36
4.5.6 Annulation d'écho	37
5 Bandes de fréquences pour systèmes CPL.....	39
5.1 Généralités	39
5.2 Plans de canaux.....	39
5.2.1 Généralités	39
5.2.2 Plan de canaux CPL à bande étroite HT	39
5.3 Caractéristiques spectrales des signaux de transmission CPL.....	40
5.4 Sélection des bandes de fréquences pour systèmes CPL HT	41
5.4.1 Généralités	41
5.4.2 Puissance maximale du signal CPL.....	41
5.4.3 Disposition des canaux.....	42
5.4.4 Allocation des fréquences.....	43
5.4.5 Mise en parallèle	43
6 Supports pour systèmes DPLC et APLC.....	43
6.1 Généralités	43
6.2 Paramètres de transmission du canal sur ligne d'énergie électrique.....	43
6.2.1 Généralités	43
6.2.2 Impédance caractéristique de la ligne d'énergie	44
6.2.3 Affaiblissement de la liaison générale	47
6.2.4 Fréquence et réponse impulsionnelle des canaux.....	57
6.2.5 Bruit et brouillage.....	58
7 Conception de liaisons et réseaux DPLC et APLC.....	65
7.1 Généralités	65

7.2	Bilan de liaison APLC.....	67
7.3	Bilan de liaison DPLC	70
7.4	Plan de fréquences.....	75
7.4.1	Généralités	75
7.4.2	Liaisons sur la même ligne HT entre deux postes.....	76
7.4.3	Planification globale des fréquences	77
7.4.4	Autres considérations.....	78
7.5	Conception du réseau	79
7.5.1	Généralités	79
7.5.2	Redondance.....	79
7.5.3	Intégration à d'autres technologies de transmission.....	79
7.6	Cybersécurité.....	80
7.6.1	Généralités	80
7.6.2	IEC 62443.....	80
7.6.3	IEC 62351.....	80
7.6.4	Aspects relatifs à la cybersécurité des systèmes CPL.....	81
7.7	Système de gestion	83
8	Performances des systèmes CPL.....	83
8.1	Performances du système	83
8.2	Performances de la couche Liaison APLC.....	84
8.3	Performances de la couche Liaison DPLC.....	86
8.4	Taux d'erreurs sur les bits (TEB).....	86
8.5	Taux d'erreur sur les blocs (BLER).....	87
8.6	Capacité de transmission	87
8.7	Perte de synchronisation et temps de récupération	88
8.8	Latence de liaison.....	89
8.9	Paramètres de performance IETF-RFC 2544	89
8.10	Recommandations d'essai TEB et BLER.....	89
8.10.1	Généralités	89
8.10.2	Interface synchrone série.....	90
8.10.3	Interface Ethernet	90
8.11	Qualité de liaison globale pour la transmission de données série.....	91
9	Exigences choisies pour les applications utilisant des systèmes PLC.....	93
9.1	Généralités	93
9.2	Téléphonie.....	93
9.3	Qualité vocale	94
9.3.1	Généralités	94
9.3.2	Mesure d'intelligibilité (clarté).....	95
9.4	Téléphonie analogique	95
9.5	Téléphonie numérique.....	95
9.6	Applications VoIP	96
9.7	Transmission de données.....	96
9.8	Téléconduite	96
9.8.1	Communication IEC 60870-5-101 SCADA-RTU.....	96
9.8.2	Communication IEC 60870-5-104 SCADA-RTU.....	96
9.8.3	Téléprotection	96
9.8.4	Signal de téléprotection	97
Annexe A (informative)	Signal électrique modulé HF	98
A.1	Généralités	98

A.2 Bande passante modulée HF et signal de puissance	102
Annexe B (informative) Rendement de bande passante	106
Annexe C (informative) Mesure du bruit de ligne d'énergie	110
Bibliographie.....	111
Figure 1 – Liaison CPL.....	19
Figure 2 – Structure générale d'une liaison bidirectionnelle point à point APLC, DPLC ou ADPLC (en configuration phase-terre).....	19
Figure 3 – Structure générale d'une liaison bidirectionnelle point à multipoint APLC, DPLC ou ADPLC (en configuration phase-terre)	20
Figure 4 – Condensateur de couplage classique HT.....	22
Figure 5 – Exemple de système de couplage capacitif classique HT (conducteur monophasé à la terre).....	22
Figure 6 – Schéma électrique d'un circuit-bouchon	23
Figure 7 – Circuit-bouchon HT	23
Figure 8 – Impédance du circuit-bouchon en fonction de la fréquence.....	23
Figure 9 – Caractéristique d'impédance de blocage d'un circuit-bouchon à bande étroite	24
Figure 10 – Caractéristique d'impédance de blocage d'un circuit-bouchon à double bande.....	24
Figure 11 – Caractéristique d'impédance de blocage d'un circuit-bouchon à bande large	25
Figure 12 – Exemple de composants de dispositif de couplage et de schéma électrique	25
Figure 13 – Caractéristiques du dispositif de couplage avec un condensateur de couplage de 4 000 pF	26
Figure 14 – Couplage phase-terre	27
Figure 15 – Couplage phase-phase	27
Figure 16 – Architecture générique d'un terminal APLC conformément à l'IEC 62488-2	30
Figure 17 – Architecture générique d'un terminal DPLC conformément à l'IEC 62488-3	32
Figure 18 – Structure générique d'un terminal ADPLC.....	33
Figure 19 – Espace des signaux pour une constellation 16-QAM.....	35
Figure 20 – Méthode d'annulation d'écho pour une liaison DPLC.....	38
Figure 21 – Exemple de plan de canaux à bande étroite APLC.....	40
Figure 22 – Écart de fréquence minimal.....	42
Figure 23 – GMR des faisceaux de conducteurs	46
Figure 24 – Réseau de terminaison pour une ligne triphasée	46
Figure 25 – Agencements de couplage optimaux et perte de conversion modale a_c	51
Figure 26 – Agencements de couplage phase-terre et phase-phase optimaux pour les longues lignes avec transpositions	52
Figure 27 – Jonctions de lignes aériennes à des câbles d'alimentation	55
Figure 28 – Exemple de réponse de canal HT $H(f)$ et $h(t)$	58
Figure 29 – Affaiblissement en fonction de la fréquence d'un canal sur ligne d'énergie HT réel.....	58
Figure 30 – Bruit de fond.....	60
Figure 31 – Bruit de fond en fonction de la fréquence.....	61
Figure 32 – Exemple de variations du spectre de bruit de fond en fonction du temps.....	61

Figure 33 – Exemple d’impulsion isolée	62
Figure 34 – Exemple d’impulsion transitoire	62
Figure 35 – Exemple d’impulsions périodiques nettes synchrones	63
Figure 36 – Exemple de salves d’impulsions	63
Figure 37 – Topologies de réseau CPL types sur des liaisons APLC, DPLC ou ADPLC dans le réseau d’alimentation HT	66
Figure 38 – Exemple d’une configuration de signal dans deux canaux de 4 kHz.....	68
Figure 39 – Exemple de configuration de canal DPLC.	72
Figure 40 – Rendement de bande passante DPLC type pour un TEB de 10^{-6}	73
Figure 41 – Exemple de plages de tensions de ligne HT dans des conditions considérées	74
Figure 42 – Exemple pour un système DPLC avec adaptation automatique du débit de données	75
Figure 43 – Exemple de planification des fréquences basée sur le regroupement des canaux de fréquences cellulaires.	78
Figure 44 – Limites de perte totale du circuit par rapport à celle à 1 020 Hz (Recommandation M.1020 de l’UIT-T)	85
Figure 45 – Limites pour le temps de propagation de groupe par rapport au temps de propagation de groupe minimal mesuré dans la bande de 500 Hz à 2 800 Hz (Recommandation M.1020 de l’UIT-T)	86
Figure 46 – Quelques courbes de TEB théoriques	87
Figure 47 – Caractéristique "C/SNR" DPLC comparée au rendement limite de Shannon pour un TEB = $11E-4$ et $1E-6$ et limite de Shannon	88
Figure 48 – Structure normale Ethernet du format des trames	90
Figure 49 – Exemple de détermination d’indisponibilité (Recommandation G.826 de l’UIT-T)	92
Figure 50 – Exemple de l’état indisponible d’un trajet bidirectionnel (Recommandation G.826 de l’UIT-T)	92
Figure 51 – Estimation de qualité de performance basée sur les Recommandations G.821 et G.826 de l’UIT-T.....	92
Figure 52 – Relation entre clarté, retard et écho concernant la qualité vocale	94
Figure A.1 – Concepts de puissance	98
Figure A.2 – Tonalité unique.....	100
Figure A.3 – Deux tonalités	101
Figure A.4 – Exemple de bandes équivalentes de bruit pour différents services	102
Figure A.5 – Bande équivalente de bruit pour différents services.....	103
Figure B.1 – Constellation 8-MIA.....	106
Figure B.2 – Intervalle de SNR de rendement DPLC à la limite de Shannon	109
Figure B.3 – Rendement DPLC pour TEB = 10^{-4} et 10^{-6} et limite de Shannon.....	109
Tableau 1 – Caractéristiques des schémas de modulation DPLC classiques.....	36
Tableau 2 – Caractéristiques des schémas de modulation DPLC QAM à porteuse unique et à plusieurs porteuses	37
Tableau 3 – Techniques et fréquences de communication par courant porteur sur ligne d’énergie	39
Tableau 4 – Spectre HF alloué aux systèmes CPL	40

Tableau 5 – Plage des impédances caractéristiques des circuits CPL sur lignes aériennes HT	47
Tableau 6 – Perte supplémentaire a_{SUP} [dB] pour différentes configurations de ligne et agencements de couplage optimaux.....	54
Tableau 7 – Valeur type des niveaux de puissance de bruit d'effet de couronne, rapportée à une bande passante de 4 kHz pour diverses tensions de systèmes HT.....	60
Tableau 8 – Niveaux moyens types pour le bruit de type impulsionnel, mesurés côté câble HF du couplage aux bornes de 150 Ω dans une bande passante de 4 kHz.....	64
Tableau 9 – Paramètres des signaux.....	69
Tableau 10 – Bilan de liaison.....	69
Tableau 11 – Niveaux de signal et de bruit admissibles à l'entrée du récepteur	70
Tableau 12 – Solutions possibles pour l'exemple de la Figure 39	72
Tableau 13 – Principales menaces de cyber sécurité et principaux risques de sécurité auxquels sont confrontés les systèmes CPL.....	83
Tableau 14 – Objectifs du masque de qualité (échantillon).....	93

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

Systèmes de communication sur lignes d'énergie pour les applications des compagnies d'électricité - Partie 1: Conception des systèmes à courants porteurs de lignes d'énergie analogiques et numériques fonctionnant sur des réseaux d'électricité HT

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'IEC n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevet.

L'IEC 62488-1 a été établie par le comité d'études 57 de l'IEC: Gestion des systèmes de puissance et échanges d'informations associés. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2012. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) Révision complète de la présente édition par rapport à l'édition précédente, portant principalement sur la conception des systèmes à courants porteurs de lignes d'énergie analogiques et numériques fonctionnant sur des réseaux d'électricité HT;
- b) Une structure générale d'une liaison bidirectionnelle point à multipoint APLC, DPLC ou ADPLC a été introduite;
- c) Introduction d'une nouvelle approche en matière de planification globale des fréquences.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
57/2773/FDIS	57/2794/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à son approbation.

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

La version française de la norme n'a pas été soumise au vote.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62488, publiées sous le titre général *Systèmes de communication sur lignes d'énergie pour les applications des compagnies d'électricité*, se trouve sur le site Web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

INTRODUCTION

La complexité et la taille importante des systèmes actuels de génération, de transmission et de distribution d'électricité sont telles qu'il est possible de contrôler ces systèmes uniquement au moyen d'un système de télécommunication associé, souvent tout aussi étendu et complexe que les systèmes, et présentant une fiabilité très élevée.

L'utilisation simultanée du réseau de distribution de puissance pour la transmission d'énergie et la communication de données est unique. Elle réduit le coût de l'installation des deux services en n'utilisant qu'un seul trajet de transmission. Cette technologie de communication est appelée "communications par courant porteur sur ligne d'énergie" (CPL).

Par conséquent, à l'aide d'une communication par courant porteur sur ligne d'énergie analogique (APLC) et/ou d'une communication par courant porteur sur ligne d'énergie numérique (DPLC), la communication peut rester efficace sans raccord sur l'ensemble du réseau électrique.

Le développement de techniques numériques pour les communications dans les réseaux électriques HT est maintenant très répandu, ainsi que d'autres applications du domaine de l'électronique. Cela est particulièrement vrai concernant les réseaux de distribution électrique dans lesquels les dispositifs CPL utilisent des convertisseurs analogiques/numériques associés à des techniques de traitement du signal numérique visant à assurer une plus grande flexibilité et une meilleure efficacité du matériel.

Le rapport technique sur la "*conception des systèmes à courant porteur sur ligne d'énergie*" a d'abord été élaboré par la Commission Électrotechnique Internationale dans l'IEC 60663 [1]¹ parue en 1980 intitulée *Conception des systèmes à courants porteurs (à bande latérale unique) sur lignes d'énergie*. En 1993, la Commission Électrotechnique Internationale a élaboré l'IEC 60495 [2], *Équipements terminaux à courants porteurs sur lignes d'énergie, à bande latérale unique*. Dans les années qui ont suivi, les systèmes électroniques et les systèmes de communication associés pour dispositifs électroniques ont évolué et se sont considérablement développés. L'introduction de techniques de communications numériques a amélioré la qualité de l'émission et de la réception des signaux CPL dans les dispositifs électroniques, leur permettant de fournir une analyse de la qualité plus détaillée et de contrôler les données communiquées sur l'ensemble du réseau de distribution de l'énergie électrique, du centre de commande au fournisseur de service.

Ces deux normes, IEC 60663 et IEC 60495, ont été mises à jour et remplacées par les normes suivantes: L'IEC 60663 est remplacée par l'IEC 62488-1, et l'IEC 60495 est remplacée par l'IEC 62488-2 [3] et l'IEC 62488-3 [4], couvrant respectivement les équipements terminaux à courant porteur sur ligne d'énergie analogiques, numériques et hybrides analogiques/numériques.

Ces documents s'appliquent aux équipements terminaux à courant porteur sur ligne d'énergie (CPL) utilisés pour transmettre des informations sur des réseaux d'alimentation électrique HT. Les systèmes de modulation analogiques et numériques sont pris en compte.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

La série IEC 62488 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général: *Systèmes de communication sur lignes d'énergie pour les applications des compagnies d'électricité*:

- Partie 1: *Conception des systèmes à courants porteurs de lignes d'énergie analogiques et numériques fonctionnant sur des réseaux d'électricité HT;*
- Partie 2: *Bornes analogiques à courant porteur en ligne (CPL);*
- Partie 3: *Équipements terminaux à courants porteurs sur lignes d'énergie numériques (DPLC) et équipements terminaux hybrides ADPLC.*

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62488 s'applique à la conception des systèmes de communication par courant porteur sur ligne d'énergie analogiques (APLC), numériques (DPLC) et hybrides analogiques/numériques (ADPLC, Analogue-Digital Power Line Carrier) installés sur des réseaux d'alimentation électrique HT. Le présent document a pour objet de définir la conception des services et des paramètres de performance relatifs aux exigences opérationnelles en matière d'émission et de réception efficaces et fiables des données.

Ces systèmes à courant porteur sur ligne d'énergie analogiques et numériques sont utilisés par les différentes compagnies d'électricité et sont intégrés à leur infrastructure de communication à l'aide des technologies de communication habituelles (les liaisons radioélectriques, la fibre optique et les réseaux satellite, par exemple).

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.