

# RAPPORT TECHNIQUE TECHNICAL REPORT

CEI  
IEC

TR 60870-1-5

Première édition  
First edition  
2000-09

**Matériels et systèmes de téléconduite –**

**Partie 1-5:  
Considérations générales –**

**Influence des procédures de transmission par  
modem utilisant des brouilleurs sur l'intégrité  
des données des systèmes de transmission  
utilisant le protocole de la CEI 60870-5**

**Telecontrol equipment and systems –**

**Part 1-5:  
General considerations –**

**Influence of modem transmission procedures  
with scramblers on the data integrity of  
transmission systems using the  
protocol IEC 60870-5**



Numéro de référence  
Reference number  
IEC/TR 60870-1-5:2000

## Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

## Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

## Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI\*
- Catalogue des publications de la CEI  
Publié annuellement et mis à jour régulièrement  
(Catalogue en ligne)\*
- Bulletin de la CEI  
Disponible à la fois au «site web» de la CEI et comme périodique imprimé

## Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VIE).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

\* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

## Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

## Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

## Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- IEC web site\*
- Catalogue of IEC publications  
Published yearly with regular updates  
(On-line catalogue)\*
- IEC Bulletin  
Available both at the IEC web site\* and as a printed periodical

## Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

\* See web site address on title page.

# RAPPORT TECHNIQUE TECHNICAL REPORT

CEI  
IEC

TR 60870-1-5

Première édition  
First edition  
2000-09

## Matériels et systèmes de téléconduite –

### Partie 1-5: Considérations générales –

**Influence des procédures de transmission par modem utilisant des brouilleurs sur l'intégrité des données des systèmes de transmission utilisant le protocole de la CEI 60870-5**

## Telecontrol equipment and systems –

### Part 1-5: General considerations –

**Influence of modem transmission procedures with scramblers on the data integrity of transmission systems using the protocol IEC 60870-5**

© IEC 2000 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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 photo-copie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission  
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland  
e-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)  
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

K

Pour prix, voir catalogue en vigueur  
For price, see current catalogue

## SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS .....	4
INTRODUCTION .....	8
Articles	
1 Domaine d'application .....	10
2 Schémas d'erreurs indétectables du format de trame FT1.2.....	10
3 Propagation des bits erronés par les brouilleurs.....	12
4 Conditions relatives aux schémas d'erreurs indétectables dans les trames FT1.2 .....	14
5 Effet de brouilleurs particuliers sur l'intégrité des données de FT1.2 .....	14
Bibliographie .....	18

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60870-1-5:2000

## CONTENTS

	Page
FOREWORD .....	5
INTRODUCTION .....	9
Clause	
1    Scope .....	11
2    Undetectable bit error patterns of the frame format FT1.2.....	11
3    Propagation of bit errors by scramblers .....	13
4    Conditions for undetectable error patterns in FT1.2 frames .....	15
5    Effect of particular scramblers on the data integrity of FT1.2.....	15
Bibliography .....	19

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60870-1-5:2000

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE****MATÉRIELS ET SYSTÈMES DE TÉLÉCONDUISTE –****Partie 1-5: Considérations générales –****Influence des procédures de transmission par modem utilisant des brouilleurs sur l'intégrité des données des systèmes de transmission utilisant le protocole de la CEI 60870-5****AVANT-PROPOS**

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent rapport technique peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

La CEI 60870-1-5, qui est un rapport technique, a été établie par le comité d'études 57 de la CEI: Conduite des systèmes de puissance et communications associées.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
57/428/CDV	57/472/RVC

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**TELECONTROL EQUIPMENT AND SYSTEMS –****Part 1-5: General considerations –****Influence of modem transmission procedures with scramblers  
on the data integrity of transmission systems  
using the protocol IEC 60870-5****FOREWORD**

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this technical report may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

IEC 60870-1-5, which is a technical report, has been prepared by IEC technical committee 57: Power system control and associated communications.

The text of this technical report is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
57/428/CDV	57/472/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical report can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Ce document, purement informatif, ne doit pas être considéré comme une Norme internationale.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2006.  
A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60870-1-5:2000

This document which is purely informative is not to be regarded as an International Standard.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2006. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60870-1-5:2000

## INTRODUCTION

Le protocole de transmission de données standard de la CEI 60870-5 pour les systèmes de téléconduite définit des codages pour les blocs conçus pour atteindre une efficacité de transmission et une intégrité des données élevées en prenant pour hypothèse que le canal de transmission utilise un mode de transmission binaire symétrique sans mémoire au niveau de l'élément binaire. Le mode de «transmission sans mémoire» est violé si le signal d'un élément binaire d'information individuel dépend des signaux des éléments binaires d'autres éléments binaires d'information. Cela signifie que l'utilisation de brouilleurs et l'assemblage de deux ou plusieurs éléments binaires en paquets pour les modulations d'amplitude et les modulations multiphasé au niveau de la couche physique violent les conditions optimales de définition du protocole de la couche physique pour le codage des blocs.

L'influence des procédures de transmission par modem des recommandations de l'UIT-T sur l'intégrité des données du format de trame FT1.2 défini dans la CEI 60870-5-1 a été étudiée [1], [2].<sup>1)</sup>

Il résulte de ces investigations qu'un modem d'une recommandation particulière de l'UIT-T diminue l'intégrité des données des trames FT1.2 en réduisant sa distance de Hamming de 4 à 3, alors que tous les autres modems étudiés n'ont aucune influence négative sur le niveau d'intégrité des données du format de trame FT1.2.

---

<sup>1)</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

## INTRODUCTION

The standard data transmission protocol IEC 60870-5 for telecontrol systems defines block codes that are designed to achieve high transmission efficiency and high data integrity under the assumption that the transmission channel utilizes a binary symmetric memoryless bit transmission method. The "memoryless transmission" method is violated if the signal of an individual information bit depends on bit signals of other information bits. This means that the utilization of scramblers and the assembly of two or more bits in packets for multiphase and amplitude modulations in the physical layer violate the conditions under which the link layer protocol definitions for block codes are optimized.

The influence of ITU-T standard modem transmission procedures on the data integrity of the frame format FT1.2 defined in IEC 60870-5-1 was investigated [1], [2].<sup>1)</sup>

The conclusion of these investigations is that one particular standard ITU-T modem reduces the data integrity of FT1.2 frames by reducing its designed Hamming distance of 4 to 3, while all other investigated modems have no negative influence on the designed data integrity level of frame format FT1.2.

---

<sup>1)</sup> The figures in square brackets refer to the bibliography.

## MATÉRIELS ET SYSTÈMES DE TÉLÉCONDUISE –

## **Partie 1-5: Considérations générales –**

## **Influence des procédures de transmission par modem utilisant des brouilleurs sur l'intégrité des données des systèmes de transmission utilisant le protocole de la CEI 60870-5**

## 1 Domaine d'application

Le présent rapport technique couvre l'influence des procédures de transmission par modem.

## 2 Schémas d'erreurs indétectables du format de trame FT1.2

Le format de trame de transmission FT1.2 utilise un code produit avec vérification par parité simple particulière comme protection contre les erreurs de trame indétectables. Chaque caractère se compose de 1 bit de début («0»), de 8 bits d'information, de 1 bit de parité pair et de 1 bit de fin («1»). Un bloc de caractères se termine par un caractère de contrôle par somme qui est défini comme la somme arithmétique des caractères d'information modulo 256.

Cela signifie que les erreurs de trame indétectables se produisent du fait de schémas d'erreur particuliers comportant au moins 4 bits erronés:

- a) deux bits erronés de valeurs inverses inverses dans trois colonnes dans deux colonnes

b) deux bits erronés intervertis dans une colonne et deux contrôles de parité erronés

$X, X'$  et  $Y, Y'$  désignent des paires de bits erronés de valeurs inverses.  $E$  désigne 1 bit erronné.

- c) deux bits erronés dans la colonne 8 et deux contrôles de parité erronés
  - d) deux bits erronés de même valeur dans une colonne, 1 bit erroné de valeur inverse dans la colonne suivante et 1 bit de contrôle de parité erroné

## TELECONTROL EQUIPMENT AND SYSTEMS –

### Part 1-5: General considerations –

#### **Influence of modem transmission procedures with scramblers on the data integrity of transmission systems using the protocol IEC 60870-5**

### **1 Scope**

This technical report covers the influence of modem transmission procedures.

### **2 Undetectable bit error patterns of the frame format FT1.2**

The transmission frame format FT1.2 utilizes a particular single-parity check product code as a protection against undetectable frame errors. Each character is composed of a start bit ("0"), eight information bits, an even parity bit and a stop bit ("1"). A block of characters is terminated by a check sum character which is defined as an arithmetic sum of the information characters modulo 256.

This means that undetectable frame errors occur by particular bit error patterns with at least four erroneous bits:

a) two mutually inverted erroneous bits in two columns

b) two mutually inverted erroneous bits in one column and two erroneous parity checks

Start	1	2	3	4	5	6	7	8	P	Stop
0									1	
0		X			Y				1	
0									1	
0		X'			X				1	
0									1	

Start	1	2	3	4	5	6	7	8	P	Stop
0									1	
0							X		E	1
0							0			1
0							X'		E	1
0							0			1

X, X' and Y,Y' designate pairs of erroneous bits with inverse values. E designates an erroneous bit.

c) two erroneous bits in column 8 and two erroneous parity checks

d) two erroneous bits with equal values in one column, one erroneous bit with inverted value in the next column and an erroneous parity-check bit

Start	1	2	3	4	5	6	7	8	P	Stop
0									1	
0					E	E	1			
0							1			
0					E	E	1			
0							1			

Start	1	2	3	4	5	6	7	8	P	Stop
0									1	
0							X	X'		1
0							0			1
0							X		E	1
0							0			1

- e) trois bits erronés de même valeur dans deux colonnes consécutives et 1 bit erroné de valeur inverse dans la colonne suivante

Début	1	2	3	4	5	6	7	8	P	Fin
0									1	
0		X		X'					1	
0									1	
0		X		X					1	
0									1	

- f) deux bits erronés de même valeur dans la colonne 7, 1 bit erroné de même valeur dans la colonne 8 et un contrôle de parité erroné

Début	1	2	3	4	5	6	7	8	P	Fin
0									1	
0							X		E	1
0									1	
0							X	X	1	
0									1	

L'effet de ces schémas d'erreurs indétectables sur la probabilité d'erreur de trame résiduelle a été analysée. [3]

De plus, il existe des schémas d'erreurs indétectables comportant plus de 5 bits erronés.

Deux exemples de schémas d'erreurs indétectables comportant 6 bits erronés sont donnés ci-après:

- i) trois paires de bits erronés de valeurs inverses dans trois colonnes

Début	1	2	3	4	5	6	7	8	P	Fin
0				Y	Z				1	
0									1	
0		X			Z'				1	
0									1	
0									1	
0		X'		Y'					1	

- ii) deux paires de bits erronés de valeurs inverses dans deux colonnes et deux contrôles de parité erronés

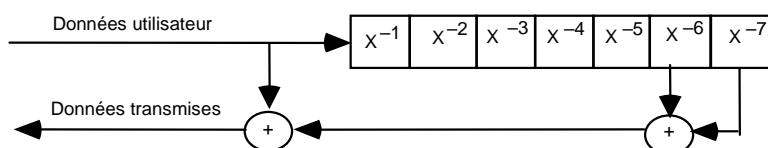
Début	1	2	3	4	5	6	7	8	P	Fin
0							Y		E	1
0									1	
0						X			E	1
0									1	
0									1	
0		X'		Y'					1	

### 3 Propagation des bits erronés par les brouilleurs

Les brouilleurs produisent des transformations de codage linéaires en insérant un registre à décalage rétroactif avant d'envoyer la séquence de bits d'une trame (données utilisateur) au canal de transmission. La transformation du codage est décrite par un polynôme comportant des coefficients dont les exposants sont négatifs et désignent les positions du registre à décalage réagissant sur la trame de transmission. Par exemple le polynôme générateur

$$g(x) = 1 + x^{-6} + x^{-7} \text{ (polynôme du brouilleur de la recommandation V.27 de l'UIT-T)}$$

transforme exclusivement la séquence des données utilisateur ou des combinaisons de chaque bit avec le contenu du registre à décalage dans les positions  $x^{-6}$  et  $x^{-7}$ .



- e) three erroneous bits with equal values in two successive columns and one erroneous bit with inverted value in the next higher column

Start	1	2	3	4	5	6	7	8	P	Stop
0									1	
0		X	X'						1	
0									1	
0		X	X						1	
0									1	

- f) two erroneous bits with equal values in column 7, one erroneous bit with equal value in column 8 and one erroneous parity check

Start	1	2	3	4	5	6	7	8	P	Stop
0									1	
0							X		E	1
0										1
0							X	X		1
0										1

The effect of these undetectable bit error patterns on the residual frame error probability was analysed. [3]

In addition, there are undetectable bit error patterns with more than five erroneous bits.

Two examples of undetectable error patterns with six bit errors:

- i) three pairs of mutually inverted erroneous bits in three columns

- ii) two pairs of mutually inverted erroneous bits in two columns and two erroneous parity checks

Start	1	2	3	4	5	6	7	8	P	Stop
0				Y	Z				1	
0									1	
0		X			Z'				1	
0									1	
0									1	
0		X'		Y'					1	

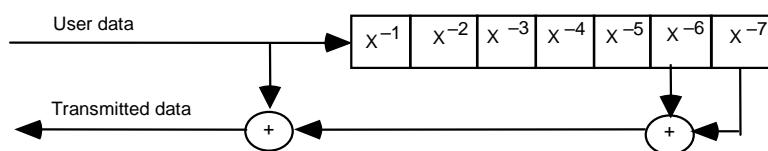
Start	1	2	3	4	5	6	7	8	P	Stop
0							Y		E	1
0									1	
0						X			E	1
0									1	
0							X'	Y'		1

### 3 Propagation of bit errors by scramblers

Scramblers perform linear code transformations by inserting a feedback shift register before sending the bit sequence of a frame (user data) to the transmission channel. The code transformation is described by a polynomial having coefficients with negative exponents which designate the positions of the shift register that cause feedbacks on the transmission frame. For example, the generator polynomial

$$g(x) = 1 + x^{-6} + x^{-7} \text{ (scrambler polynomial of recommendation ITU-T V.27)}$$

transforms the sequence of user data by exclusive or combinations of each bit with the shift register contents in the positions  $x^{-6}$  and  $x^{-7}$ .



A la réception, les données utilisateur d'origine sont restaurées en utilisant le même circuit, les données reçues tenant lieu d'entrée et les données utilisateur de sortie. Cela signifie qu'un bit erroné E en position x d'une trame crée trois inversions de bits dans les données utilisateur reçues, à savoir dans les positions x, x+6 and x+7.

...	x-2	x-1	x	x+1	x+2	x+3	x+4	x+5	x+6	x+7	x+8	...	...
données utilisateur	E								E	E			données utilisateur

Les erreurs sur les éléments binaires simples sont multipliées par w, w représentant le poids de Hamming (nombre de coefficients ≠ 0) du polynôme générateur. Des réductions de la propagation de l'erreur sont données à la fin d'une trame, lorsque les données utilisateur n'atteignent pas la fin du registre à décalage.

Tous les polynômes générateurs de la série de recommandations de l'UIT-T considérée sont les polynômes primitifs dont le poids de Hamming est de 3. Cela signifie que les erreurs sur les éléments binaires simples sont multipliées par un facteur de 3 ou moins. Puisque le format FT1.2 détecte tous les schémas d'erreur comportant moins de quatre bits erronés, les erreurs sur les éléments binaires simples sont toujours détectées. Par conséquent les erreurs sur les éléments binaires simples n'affectent pas le niveau d'intégrité des données du format FT1.2 et peuvent donc être exclues par la suite.

#### 4 Conditions relatives aux schémas d'erreurs indétectables dans les trames FT1.2

L'étude des schémas d'erreur non détectables par le format de trame FT1.2 décrits à l'article 2 ci-dessus montre que dans tous les cas il existe au moins une paire de bits erronés dans une colonne. Dans certains cas il existe 1 bit erroné supplémentaire dans la colonne voisine ou celle d'après. Puisque la longueur du caractère est de 11, il est nécessaire que l'écart entre des bits erronés soit un multiple de 11 bits. Pour que des erreurs sur les éléments binaires apparaissent dans la colonne suivante ou celle d'après, il faut un écart de  $11t + 1$  ou  $11t + 2$ , où t est un nombre entier. Cela veut dire que les polynômes générateurs des brouilleurs comportant des coefficients dont les différences entre les exposants négatifs sont 1, 2, 11, 12, 13, 22, 23, 24, 33, 34, 35,... sont susceptibles de produire des schémas d'erreurs indétectables.

#### 5 Effet de brouilleurs particuliers sur l'intégrité des données de FT1.2

Il résulte de ce qui précède que le polynôme générateur du brouilleur utilisé dans les recommandations V.22 et V.22 bis de l'UIT-T ( $1 + x^{-14} + x^{-17}$ ) n'est pas susceptible de produire des schémas d'erreurs indétectables. Cependant, les polynômes utilisés dans les recommandations V.26 ter, V.27, V.27 bis, V.27 ter, V.29, V.32, et V.33 sont tous susceptibles de produire de tels schémas d'erreur.

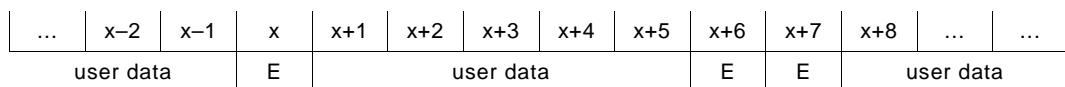
Il a été démontré [1, 2] que seul le polynôme générateur  $1 + x^{-5} + x^{-23}$  utilisé dans le sens de la recommandation V.26 ter peut réellement réduire la distance de Hamming des trames FT1.2; dans ce cas, la réduction est de 4 à 3.

Démonstration:

Les trois bits erronés suivants dans les cinq derniers caractères produisent une erreur de trame indétectable:

Début	1	2	3	4	5	6	7	8	P	Fin
0	1	2				1'	2'			1
0										1
0			1''	2''						1
0										1
Contrôle par somme	0	3				3'				1
Caractère de fin	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1
Supprimé					3''					

On the receive side, the original user data is restored by using the same circuit with the received data as input and the user data as output. This means that a bit error E in position x of a frame causes three bit inversions in the received user data, namely in positions x, x+6 and x+7.



Single-bit errors are multiplied by w, if w represents the Hamming weight (number of coefficients ≠ 0) of the generator polynomial. Reductions of the error propagation are given at the end of a frame, when the user data do not reach the end of the shift register.

All generator polynomials of the considered series of ITU-T standards are primitive polynomials with Hamming weight of 3. This means that single-bit errors are multiplied by factor 3 or less. Because the FT1.2 format detects all bit error patterns with less than four erroneous bits, it follows that single-bit errors are always detected. Therefore, single-bit errors do not affect the data integrity level of format FT1.2 and thus may be excluded from further consideration.

#### 4 Conditions for undetectable error patterns in FT1.2 frames

The investigation of bit error patterns that are not detectable by frame format FT1.2 as given in clause 2 above shows that, in all cases, there is at least one pair of erroneous bits in one column. In some cases, there is a further erroneous bit in the directly neighbouring column or in the column next to the neighbouring column. Because the character length is 11, it is necessary that the gap between erroneous bits is a multiple of 11 bits. Conditions for the occurrence of error bits in the next or second next column is a gap of  $11t + 1$  or  $11t + 2$ , where t is an integer. This means that generator polynomials of scramblers with coefficients whose differences of the negative exponents are 1, 2, 11, 12, 13, 22, 23, 24, 33, 34, 35, ... are possible candidates to generate undetectable error patterns.

#### 5 Effect of particular scramblers on the data integrity of FT1.2

It follows from the previous clause that the scrambler generator polynomial used in ITU-T recommendations V.22 and V.22 bis ( $1 + x^{-14} + x^{-17}$ ) is not a possible candidate to generate undetectable error patterns. However, the polynomials used in recommendations V.26 ter, V.27, V.27 bis, V.27 ter, V.29, V.32, and V.33 are all possible candidates to generate such error patterns.

It was shown [1], [2] that only the generator polynomial  $1 + x^{-5} + x^{-23}$  used in the calling direction of recommendation V.26 ter can actually reduce the Hamming distance of FT1.2 frames; in this case, the reduction is from 4 to 3.

Proof:

The following 3 bit errors in the last five characters cause an undetectable frame error:

Start	1	2	3	4	5	6	7	8	P	Stop
0	1	2				1'	2'			1
0										1
0			1''	2''						1
0										1
Check sum	0	3				3'				1
End character	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1
Suppressed					3''					