

TP 1 Réseaux

Signal et transmission de trames

C. Pain-Barre

INFO - IUT Aix-en-Provence

version du 24/11/2009

Première partie

Couche Physique

1 Vitesse de transmission

Cet exercice néglige bien des aspects de la communication entre ordinateurs mais, outre son côté *surprenant*, il explique pourquoi nombre d'entreprises font convoier leurs sauvegardes par des coursiers plutôt que par le réseau. D'autre part, il illustre la différence entre le délai et le débit. Il est proposé dans le livre "Réseaux. Cours et Exercices" d'Andrew Tanenbaum.

i Rappels :

- pour les débits en transmission, on utilise le système international avec des puissances de 10 : 1 kbit/s = 10^3 bit/s ; 1 Mbit/s = 10^3 kbit/s ; etc.
- pour les quantités de données en informatique, on utilise des puissances de 2 : 1 octet = 8 bits ; 1 Ko = 2^{10} octets ; 1 Mo = 2^{10} Ko ; etc.

Exercice 1

Supposons qu'un Saint-Bernard, équipé d'une boîte de 3 cartouches magnétiques de 7 Go chacune à la place d'un tonnelet de rhum (sacrilège !), soit entraîné à effectuer l'aller-retour entre deux points quelconques. Celui-ci va à la vitesse de 18 km/h. Jusqu'à quelle distance le chien possède-t-il une plus grande vitesse de transmission qu'une liaison (d'un réseau) ATM à 155 Mbit/s ? On néglige ici le temps d'acheminement des bits sur le réseau ATM (quelques microsecondes).

[\[Corrigé\]](#)

2 Transmission de bits

2.1 Modulation

On va étudier ici la transmission analogique de bits par **modulation**. Vous serez amenés à analyser des signaux pour indiquer ce qu'ils transportent. Pour cela, on utilisera les conventions suivantes :

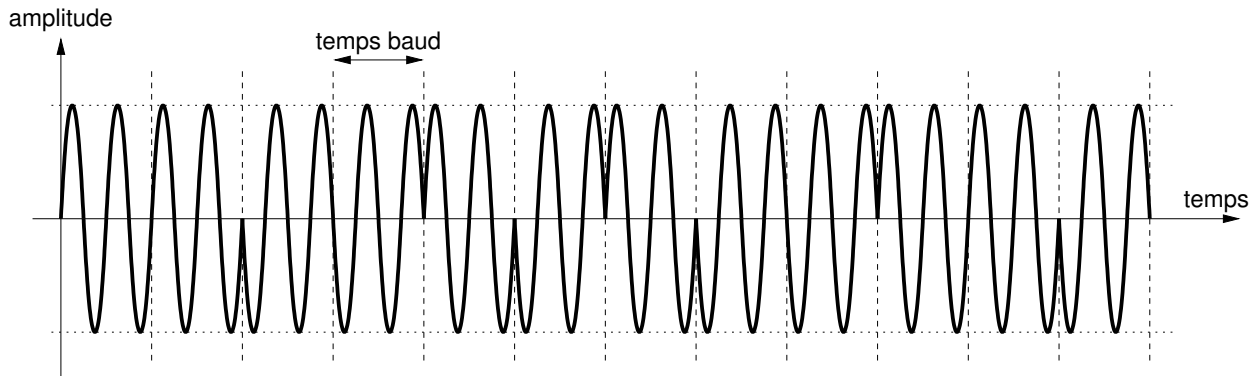
- Transmission par modulation d'amplitude : une faible amplitude représente un bit à 1 et une forte amplitude représente un bit à 0. L'amplitude de la porteuse est moyenne.
- Transmission par modulation de fréquence : une faible fréquence représente un bit à 0 et une forte fréquence représente un bit à 1. La fréquence de la porteuse est moyenne.

- Transmission par modulation de phase : la phase montante (0°) en début de temps bauds représente un 1, celle descendante (180°) représente un 0. La phase de la porteuse doit être différente (par exemple, 90°).

Sur toutes les figures de ce TP, la fin d'un bit (ou d'un baud) est marquée par une barre verticale hachée.

Exercice 2

Soit le signal suivant :



1. Quel type de modulation a produit ce signal ?
2. Quelle est la séquence de bits qu'il représente ?

[Corrigé]

2.2 Les bauds par l'exemple

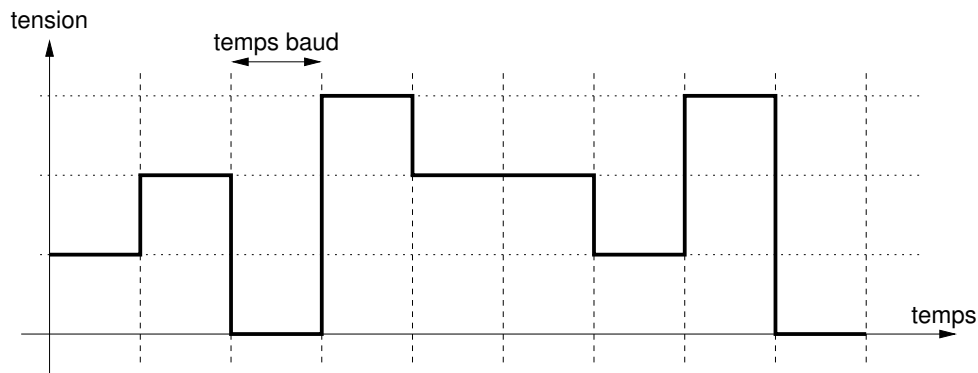
Dans cette partie, on va étudier des signaux où un baud ne donne pas forcément un bit.

2.2.1 Transmission en bande de base

Dans un premier temps, on étudie un signal en bande de base où la valence n'est pas 1.

Exercice 3

Supposons qu'on dispose d'un média de transmission en bande de base disposant de 4 niveaux significatifs et permettant de transmettre un signal de la forme :



1. Quel est le nombre de bits par baud pouvant être émis sur un tel canal ?
2. En supposant que le protocole de transmission spécifie que les niveaux du plus bas au plus élevé correspondent aux valeurs binaires de 0 à 3, quelle est la séquence de bits représentée par ce signal ?

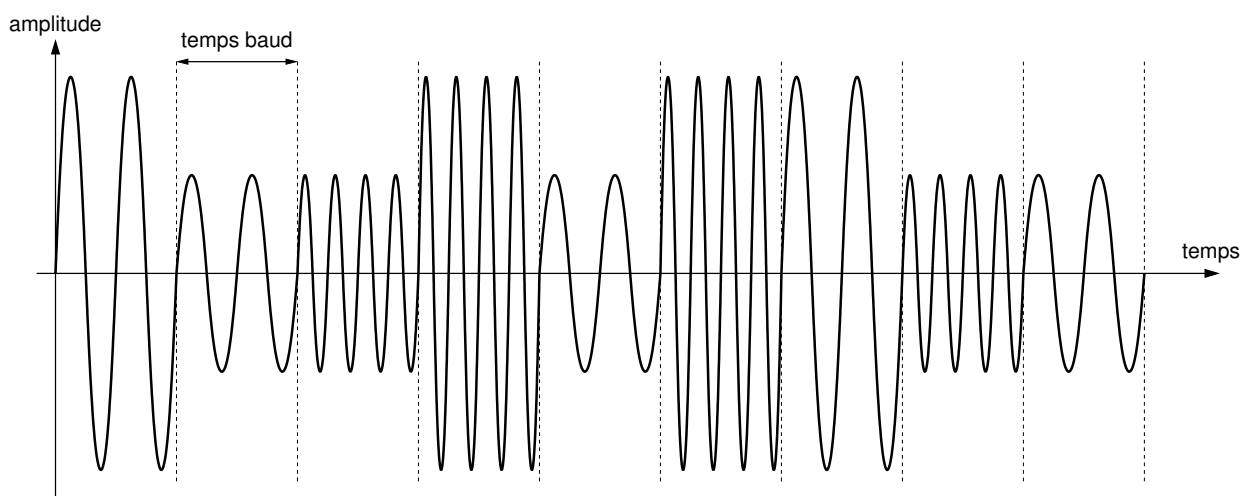
[Corrigé]

2.2.2 Transmission analogique : première combinaison

En combinant plusieurs modulations, on peut émettre plusieurs bits par baud. Par exemple, les modems combinent généralement la modulation d'amplitude et de phase. Dans ce cas, lors d'un changement de baud, le modem peut modifier à la fois la phase et l'amplitude du signal. **Le nombre de bits par baud (la valence du signal) est alors \log_2 du nombre de variations différentes**, soit \log_2 du produit du nombre de niveaux d'amplitude utilisés par le nombre de phases utilisées.

Exercice 4

1. Quelle combinaison a été utilisée pour l'émission du signal suivant : amplitude-phase, amplitude-fréquence ou fréquence-phase ?

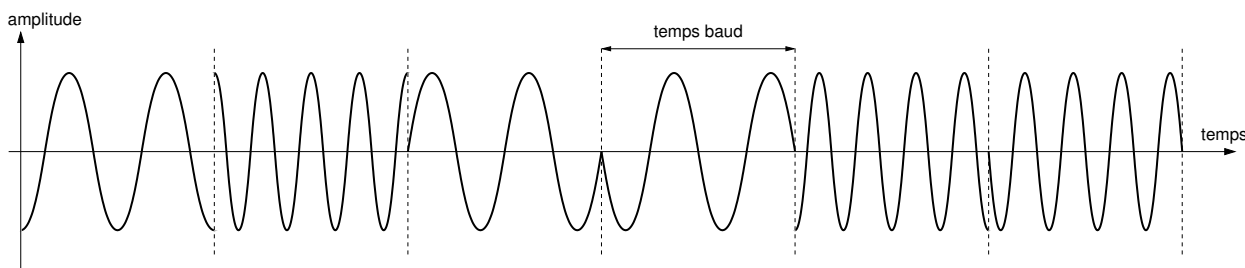


2. Combien de bits par baud sont transmis si toutes les possibilités des combinaisons utilisées sont présentes dans ce signal ?
3. Supposons que les quatre combinaisons amplitude-fréquence : faible-faible, faible-fort, fort-faible et fort-fort, codent respectivement 00, 11, 01 et 10. Quelle est la séquence de bits représentée par le signal ?
4. Proposez une variante de cette modulation permettant de transmettre **exactement** 3 bits par baud **sans faire intervenir un type de modulation supplémentaire** (pas de modulation de phase).

[\[Corrigé\]](#)

2.2.3 Transmission analogique : autre combinaison

Exercice 5



1. Quel est ce type de (combinaison de) modulation(s) ?
2. Si on suppose que toutes les variations possibles (pas leur combinaison) apparaissent sur le signal précédent, combien de bits par baud sont transmis par un tel signal ?

- Proposez une valeur binaire pour chaque combinaison possible.
- En déduire l'information transportée par le signal observé ci-dessus.

[Corrigé]

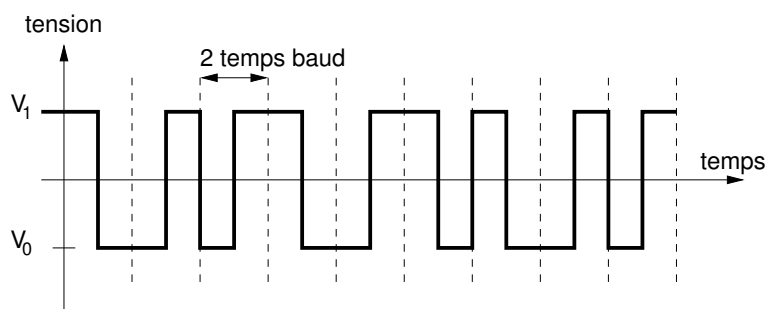
2.3 Codages Manchester

On va étudier ici les deux formes de codage Manchester. On rappelle que pour le Manchester (normal), un signal partant de V_1 au début du temps bit et finissant en V_0 correspond à un bit à 1, s'il part de V_0 pour terminer en V_1 , il correspond à un bit à 0.

Pour le codage Manchester différentiel, la signification du signal dépend du bit précédent : si la polarité du signal ne change pas en début de temps bit, il représente 1, sinon il représente 0.

Exercice 6

Soit le signal suivant :



- En supposant qu'il s'agit d'un codage Manchester (normal), quelle est la séquence de bits qu'il représente ?
- Et si c'est un codage Manchester Différentiel ?

[Corrigé]

3 Synthèse de la rapidité de modulation, débits, bande passante, codage et temps de transmission

3.1 Calcul du débit en fonction du codage

Exercice 7

Soit une ligne de transmission de rapidité de modulation maximale 8000 bauds selon son constructeur. Quel est le débit binaire maximal autorisé par cette ligne dans les cas de codage suivants :

- codage unipolaire ;
- codage non retour à zéro ;
- codage Manchester différentiel.

[Corrigé]

3.2 Calcul de la rapidité de modulation, de la bande passante et de la qualité exigées

Exercice 8

Sachant que la rapidité de modulation maximale d'une ligne de transmission est le double de sa bande passante :

1. Si l'on veut mettre en place une ligne de transmission de 20 kbit/s, quelle doit être la rapidité de modulation si on utilise le codage Manchester ?
2. Supposons que l'on dispose d'un câble en paire torsadée possédant une plage de fréquences utilisables de [10 kHz, 25 kHz]. Est-il adapté pour fournir un débit de 20 kbit/s si on utilise le codage Manchester ?
3. On dispose d'un câble possédant une plage de fréquences utilisable de [10 kHz, 20 kHz] et l'on souhaite transmettre l'information par une modulation quelconque. Quel doit être le rapport signal/bruit minimal de l'environnement (c.-à-d. sa qualité) afin d'atteindre le débit de 100 kbit/s ?

[\[Corrigé\]](#)

3.3 Débits offerts par des modems

Exercice 9

Quels sont les débits binaires proposés par les modems utilisant une rapidité de modulation de 9600 bauds et :

1. qui utilisent une modulation de 2 fréquences ?
2. qui utilisent une modulation de 4 phases ?
3. qui utilisent une modulation de 16 combinaisons amplitude/phase ?

[\[Corrigé\]](#)

3.4 Comparaisons des commutations de message et de paquet

Exercice 10

Supposons que deux hôtes A et B sont placés en réseau et sont séparés par 3 lignes de transmission et 2 commutateurs C1 et C2 ainsi que le montre le schéma ci-dessous :



1. En supposant que les 3 lignes de transmission proposent un débit de 10 000 bit/s chacune, et que le temps de commutation (temps passé par un message ou un paquet sur un commutateur avant retransmission) est de 100 ms sur chaque commutateur, calculer le temps de total d'envoi d'un message de 20 000 bits de A à B, dans le cas de la commutation par message et dans le cas de la commutation par paquets de 1 000 bits. On néglige le temps de propagation du signal : un bit émis est supposé immédiatement reçu.
2. Même question mais en supposant que :
 - la liaison A \longleftrightarrow C1 a un débit de 5 000 bit/s ;
 - celle C1 \longleftrightarrow C2 a un débit de 10 000 bit/s ;

- celle C2 \longleftrightarrow B a un débit de 20 000 bit/s.
3. Même question mais en supposant que :
- la liaison A \longleftrightarrow C1 a un débit de 20 000 bit/s ;
 - celle C1 \longleftrightarrow C2 a un débit de 15 000 bit/s ;
 - celle C2 \longleftrightarrow B a un débit de 10 000 bit/s.

[\[Corrigé\]](#)

Deuxième partie

Couche Liaison de données

4 Utilisation d'une liaison half-duplex

Exercice 11

Soit A et B, deux stations reliées par une ligne de transmission offrant un débit de 1 Mbit/s exploitée en half-duplex. Le temps de propagation du signal sur la liaison est 10 ms. Comparer la quantité d'information que peuvent s'échanger A et B en une seconde en transmettant des paquets de 10 kbit dans les conditions suivantes :

1. A et B transmettent à tour de rôle chacun un paquet en alternance
2. A transmet plusieurs paquets avant de laisser la liaison à B. À la fin de la seconde, A et B doivent avoir transmis le même nombre de paquets (± 1).

[\[Corrigé\]](#)

5 Transmission de trames et synchronisation

Dans ces exercices, on va transmettre des messages en les encadrant par des délimiteurs, le tout étant appelé une trame.

On rappelle que l'intérêt des délimiteurs est de permettre au récepteur de se synchroniser s'il a perdu la synchronisation à cause d'une erreur de transmission ou de son propre fait.

5.1 Délimiteurs et caractères de transparence

Dans cet exercice, une trame est composée de caractères. Une trame doit obligatoirement commencer par les caractères délimiteurs de début **DLE** et **STX**, et se terminer par la séquence **DLE ETX** (délimiteurs de fin).

5.1.1 Émission

Avant d'encapsuler le message en l'encadrant par les délimiteurs puis d'émettre la trame, le message doit être traité pour enlever toute ambiguïté entre le contenu du message et les caractères délimiteurs : devant tout caractère **DLE** du message, il faut insérer un **DLE** supplémentaire (caractère de transparence).



On utilisera le caractère '**&**' pour **DLE**, '**<**' pour **STX** et '**>**' pour **ETX**.

Exercice 12

Quelles sont les trames émises pour transmettre les messages suivants (les guillemets ne sont pas à émettre...)?

1. "SALUT"
2. "UN_&_ET<&>VOILA&"
3. "&<A_&_TCHAO&<&!&>!&&&>"

[\[Corrigé\]](#)

5.1.2 Réception

L'extraction de trames (et de messages) à partir d'un flot de caractères reçus est une opération relativement simple lorsqu'il n'y a pas eu d'erreur de transmission et que le récepteur reste synchronisé : il lui suffit de rechercher les délimiteurs marquant le début de la trame en ignorant les caractères situés avant. Les caractères qui suivent sont traités pour extraire le message. Il faut supprimer les caractères de transparence et rechercher les délimiteurs de fin : si un **DLE** est suivi d'un autre **DLE** alors ce dernier est éliminé sinon ce doit être **ETX** (ou alors, une erreur est survenue).

Exercice 13

Quel(s) message(s) une station peut-elle extraire des séquences de caractères suivantes, reçues pendant un laps de temps ?

1. "AB&<OLLEH&>&<EASY&>XY"
2. "&<&&OLA&&&>YEP&>&<HOP&&&&<&>"

[\[Corrigé\]](#)

5.2 Fanions et bits de transparence

Dans cet exercice, une trame est composée de bits. Elle doit obligatoirement commencer et se terminer par le fanion 01111110.

5.2.1 Émission

Avant d'encapsuler le message en l'encadrant par le **fanion 01111110** puis d'émettre la trame, le message doit être traité pour enlever toute ambiguïté entre le contenu du message et les fanions : à la suite d'une série de 5 bits à 1 dans le message, il faut insérer un bit à 0 (bit de transparence).

Exercice 14

Quelles sont les trames émises pour transmettre les messages suivants (entre guillemets) ?

1. "100111111000"
2. "101111111111101"

[\[Corrigé\]](#)

5.2.2 Réception

L'extraction de trames (et de messages) à partir d'un flot de bits reçus est elle aussi une opération relativement simple lorsqu'il n'y a pas eu d'erreur de transmission et que le récepteur reste synchronisé : il lui suffit de rechercher le fanion marquant le début de la trame en ignorant les bits situés avant. Les bits qui suivent sont traités pour extraire le message. Il faut supprimer les bits de transparence et rechercher le fanion de fin : si un 0 est suivi de cinq 1 consécutifs suivis d'un 0, celui-ci est un bit de transparence (à éliminer). Si les 1 sont suivis d'un autre 1, le bit qui suit devrait être un '0' (ou alors, une erreur est survenue).

Exercice 15

Quel(s) message(s) une station peut-elle extraire de la séquence de caractères suivante, reçue pendant un laps de temps ?

1. "011111100110111110011111011101111110"
2. "0111011111101101111100111111000111111101111101111101101111110111110111110"

[\[Corrigé\]](#)

6 Correction et détection d'erreur

6.1 Correction d'erreur

Il existe plusieurs codes correcteurs d'erreur. Pour corriger des erreurs sur la transmission de m bits, on ajoute r bits de contrôle. Du rapport m/r va dépendre l'efficacité du code correcteur, qui pourra corriger un nombre plus ou moins important de bits (il est impossible de corriger toutes les erreurs). Les codes généralement utilisés nécessitent une taille de r importante (entre $m/2$ et m).

Pour le code de Hamming, si l'on veut corriger une seule erreur sur m bits, il suffit du plus petit r qui vérifie :

$$2^r \geq (m + r + 1)$$

Exercice 16

Calculer r pour pouvoir corriger une erreur sur 10 bits transmis.

[\[Corrigé\]](#)

Si l'on veut corriger une erreur pour 4 bits transmis, il faut 3 bits de contrôle et l'on transmet les 7 bits $B_7B_6B_5B_4B_3B_2B_1$. Les bits portant comme numéros des puissances de 2 (soit B_1 , B_2 et B_4) sont les bits de contrôle, les autres étant les bits de donnée. Chaque bit de donnée est contrôlé par un ou plusieurs bits de contrôle. Le bit B_i est contrôlé par les bits de contrôle B_j où $i = \sum_j$ (on décompose i en puissances de 2, qui indiquent les bits de contrôle concernés par B_i).

Exercice 17

1. Déterminer, pour chaque bit de donnée, quels sont les bits qui le contrôlent
2. En déduire, pour chaque bit de contrôle, les bits de donnée qu'il est chargé de contrôler

[\[Corrigé\]](#)

La valeur des bits de contrôle est calculée selon un contrôle de parité : si, parmi les bits de donnée contrôlés, il y a un nombre impair de bits à 1, alors le bit de contrôle vaut 1, sinon il vaut 0.

Exercice 18

Supposons que les bits de données aient pour valeur :

- $B_7 = 1$
- $B_6 = 0$
- $B_5 = 0$
- $B_3 = 1$

Calculer la valeur de B_1 , B_2 et B_4 .

[\[Corrigé\]](#)

En réception, on recalcule les bits de contrôle. S'il n'a pas d'erreur de transmission (d'un bit), alors ils sont les mêmes que ceux reçus. Sinon, certains bits de contrôle seront différents de ceux reçus. Dans ce cas, le bit qui a subi une erreur a pour numéro la somme des numéros des bits de contrôle qui diffèrent. Il suffit alors de changer sa valeur.

Exercice 19

Pour chaque suite de bits ci-dessous, déterminer s'il y a eu une erreur de transmission et la corriger le cas échéant :

- 1100001
- 1000101
- 1110000

[\[Corrigé\]](#)

6.2 Codes détecteurs

Lorsque la liaison a un faible taux d'erreur, on préfère généralement utiliser un code détecteur. La plupart des codes détecteurs utilisés sont des codes polynômiaux appelés **Codes de Redondance Cyclique**.

Ces codes utilisent un polynôme générateur $G(x)$ de la forme :

$$G(x) = x^r + \dots + x + 1$$

Le degré de $G(x)$ est r .

Dans Ethernet, le polynôme utilisé est de degré 32 et est le suivant :

$$G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

Les k bits de données $B_{k-1}B_{k-2} \dots B_1B_0$ sont représentés comme un polynôme $M(x)$:

$$M(x) = B_{k-1}x^{k-1} + B_{k-2}x^{k-2} + \dots + B_1x^1 + B_0x^0$$

La trame émise $T(x)$ contiendra les bits de données $M(x)$ suivis du **Contrôle de Redondance Cyclique** (le champ CRC) $R(x)$, occupant r bits.

$R(x)$ est calculé comme le reste de la division polynômiale modulo 2 $x^r M(x)/G(x)$, où $x^r M(x)$ est un polynôme de degré $r + k - 1$, obtenu en ajoutant r bits à 0 en fin de $M(x)$. Le degré de $R(x)$ est $r - 1$, et occupera r bits.

Exemple

On veut transmettre les 11 bits suivants : 11101101101. Le polynôme $M(x)$, de degré 10, est :

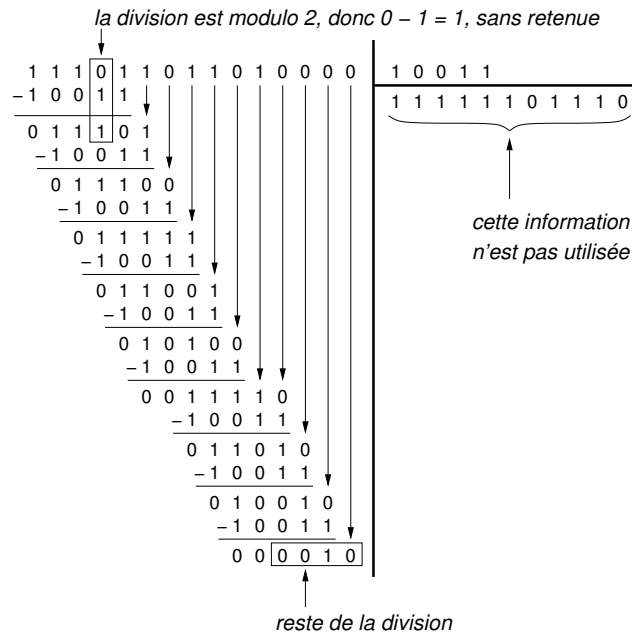
$$M(x) = x^{10} + x^9 + x^8 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + 1$$

Soit $G(x) = x^4 + x + 1$, le polynôme générateur, de degré 4. Le polynôme $x^4 M(x)$, de degré 14, est :

$$x^4 M(x) = x^{14} + x^{13} + x^{12} + x^{10} + x^9 + x^7 + x^6 + x^4$$

représentant les bits de données suivis de 4 bits à 0.

La division polynômiale $x^4 M(x)/G(x)$ est décrite ci-dessous :



Le reste de cette division, le CRC, est 0010 (représentant x^2). Ces bits sont ajoutés à la suite des bits de données. La trame émise sera donc 111011011010010.

□

Exercice 20

En utilisant le même polynôme générateur $G(x) = x^4 + x + 1$, calculer le CRC ajouté pour la transmission des 10 bits de données 1101011011.

[\[Corrigé\]](#)

Le récepteur divise la trame reçue par le polynôme générateur. Si le reste obtenu n'est pas 0, c'est qu'au moins une erreur est détectée.

Exercice 21

Soit la trame reçue suivante : 100100101010010. $G(x)$ est toujours $x^4 + x + 1$. Déterminer si une erreur de transmission a eu lieu.

[\[Corrigé\]](#)