

C.D.T.
Centre de développement technologique

– Rapport final –

**CONTRÔLE DES ERREURS PAR CODAGE
CONVOLUTIONNEL ET APPLICATIONS**

PARTIE 1 : Codes convolutionnels perforés de taux élevés

préparé pour

CENTRE DE RECHERCHE SUR LES COMMUNICATIONS

La direction des communications par satellites
(Programme de développement) des centres d'excellence de
langue française
3701, avenue Carling
C.P. 11490, succursale H
Ottawa, Ontario K2H 8S2

Mars 1995

Projet C.D.T. P1953

IC

LKC
QA
268
.H33
1995
v.1
c.2



**ÉCOLE
POLYTECHNIQUE**

QA
268
C 764
1995
v. 1
c. a
S-Ger

– Rapport final –

CONTRÔLE DES ERREURS PAR CODAGE
CONVOLUTIONNEL ET APPLICATIONS

PARTIE 1 : Codes convolutionnels perforés de taux élevés

préparé pour

CENTRE DE RECHERCHE SUR LES COMMUNICATIONS

La direction des communications par satellites

(Programme de développement) des centres d'excellence de
langue française

3701, avenue Carling
C.P. 11490, succursale H
Ottawa, Ontario K2H 8S2

Mars 1995

Projet C.D.T. P1953

CRC - CR - 95 - 007

Industry Canada
Library - Queen
OCT 15 2013
Industrie Canada
Bibliothèque - Queen

-- *Rapport final* --

CONTRÔLE DES ERREURS PAR CODAGE CONVOLUTIONNEL ET APPLICATIONS

PARTIE 1 : Codes convolutionnels perforés de taux élevés

préparé pour

CENTRE DE RECHERCHE SUR LES COMMUNICATIONS
La direction des communications par satellites
(Programme de développement) des centres d'excellence de langue française
3701, avenue Carling
C.P. 11490, succursale H
Ottawa, Ontario
K2H 8S2

À l'attention de Monsieur Mario Caron, Ing. de système

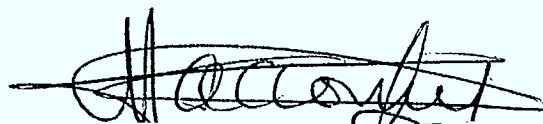
par

Professeur David Haccoun, Ph.D., ing.
Département de génie électrique et de génie informatique
École Polytechnique de Montréal

soumis par

CENTRE DE DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE (C.D.T.)
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
Campus de l'Université de Montréal
Case postale 6079, succursale Centre-ville
Montréal (Québec) H3C 3A7

Mars 1995



David Haccoun, ing.
Directeur de projet

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 1	INTRODUCTION	1
1.1	PROBLÉMATIQUE	1
CHAPITRE 2	ÉLÉMENTS DE CODAGE CONVOLUTIONNEL	4
2.1	INTRODUCTION	4
2.2	NOTIONS DE BASE SUR LE CODAGE	4
2.3	CODAGE CONVOLUTIONNEL	5
2.3.1	STRUCTURE DES CODES CONVOLUTIONNELS	5
2.3.2	ARBRES, TREILLIS ET DIAGRAMME D'ÉTAT	6
2.4	DISTANCES DE HAMMING ET SPECTRE DES DISTANCES DES CODES CONVOLUTIONNELS	6
2.5	BORNES SUPÉRIEURES SUR LA PERFORMANCE D'ERREUR	8
2.6	CODES CONVOLUTIONNELS DE TAUX DE CODAGE ÉLEVÉS	9
2.7	CODAGE CONVOLUTIONNEL DE TAUX ÉLEVÉS: APPROCHE CONVENTIONNELLE	10
CHAPITRE 3	CODES CONVOLUTIONNELS PERFORÉS DE TAUX DE CODAGE ÉLEVÉS	12
3.1	CODAGE DES CODES CONVOLUTIONNELS PERFORÉS	12
3.2	MATRICE DE PERFORATION	13
3.3	GÉNÉRALISATION	14
3.4	PERFORMANCES D'ERREURS DES CODES PERFORÉS	15

CHAPITRE 4	RECHERCHE DE BONS CODES CONVOLUTIONNELS PERFORÉS	17
4.1	INTRODUCTION	17
4.2	DÉTERMINATION DU SPECTRE DES DISTANCES	17
4.3	ALGORITHME <i>SIMPLE</i>	18
CHAPITRE 5	RÉSULTATS	21
RÉFÉRENCES		23
ANNEXE 1	LISTE DES CODES PERFORÉS, DE LEURS SPECTRES DE DISTANCE ET DE LEURS PERFORMANCES D'ERREUR	

TABLE DES FIGURES

CHAPITRE 2 ÉLÉMENTS DE CODAGE CONVOLUTIONNEL	4
FIGURE 2.1: Codeur conventionnel, $K = 3$, $R = 1/2$	5a
FIGURE 2.2: Arbre d'encodage du code de la figure 2.1	5a
FIGURE 2.3: Treillis correspondant à l'arbre de la figure 2.2	6a
FIGURE 2.4: Diagramme d'état du codeur de la figure 2.1	6a
FIGURE 2.5: Schéma de codeur convolutionnel de taux $R = 2/3$, $K = 4$, $V = 3$, $b = 2$	11a
FIGURE 2.6: Arbre d'encodage du codeur de la figure 2.5	11a
FIGURE 2.7: Treillis correspondant au codeur de la figure 2.5	11b
FIGURE 2.8: Diagramme d'état associé au codeur de la figure 2.5	11b
FIGURE 2.9: Codeur de mémoire $M = 6$ et de taux de codage $R = 2/3$	11c
CHAPITRE 3 CODES CONVOLUTIONNELS PERFORÉS DE TAUX DE CODAGE ÉLEVÉS	12
FIGURE 3.1: Treillis d'un code de mémoire $M = 2$ et de taux de codage $R = 2/3$	12a
FIGURE 3.2: Treillis d'un code de mémoire $M = 2$ et de taux $R = 1/2$	12a
FIGURE 3.3: Schéma d'un codeur pour codes perforés	14
CHAPITRE 4 RECHERCHE DE BONS CODES CONVOLUTIONNELS PERFORÉS	17
FIGURE 4.1: Algorithme <i>SIMPLE</i>	19a
FIGURE 4.2: Exploration d'un arbre par l'algorithme <i>SIMPLE</i>	20a

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

Ce document constitue le rapport final de la partie 1 intitulée « Codes Convolutionnels perforés de taux de codage élevé » du projet en 2 parties « Contrôle des Erreurs par Codage Convolutionnels et Applications ». Ce travail a été effectué à l'École Polytechnique de Montréal sous l'égide du Centre de Développement Technologique pour le Centre de Recherches sur les Communications dans le cadre du Programme de Développement des Centres D'Excellence de Langue Française.

L'objectif de cette étude est de poursuivre des recherches sur la détermination et l'analyse des codes convolutionnels particulièrement bien adaptés à des applications spécifiques de transmissions numériques fiables, ainsi que sur l'analyse, le développement et l'évaluation des performances de techniques de codage efficaces pour ces codes.

La partie 1 de l'étude porte sur les codes convolutionnels perforés de taux de codage élevé. On rappelle que les codes convolutionnels perforés de taux élevés, $R = b/V$ sont des codes obtenus par l'élimination sélective, ou perforation, de certains symboles codés à la sortie d'un codeur de taux de codage faible, $R = 1/V_0$ appelé codeur origine. L'avantage de la méthode de perforation pour générer des codes convolutionnels de taux de codage élevé $R = (V-1)/V$ réside dans la simplification avec laquelle toute une gamme de codes peut être générée à partir d'un même codeur de faible taux (typiquement $R = 1/2$ ou $R = 1/3$) et d'un ensemble de matrices de perforations appropriées. Dans la partie 1 du projet, il s'agit de déterminer et d'analyser les performances intrinsèques des meilleurs codes perforés de taux $R = (V-1)/V$ par exemple $2 \leq V \leq 8$ générés à partir des meilleurs codes connus de taux $R = 1/2$ et aptes à être décodés par les techniques conventionnelles telles le décodage de Viterbi.

Les caractéristiques de génération des codes (générateurs, matrice de perforation), celles des distances, en particulier les spectres de distance ainsi que les performances d'erreur sous forme de bornes supérieures sont fournies.

Bien que le projet eut démarré quelque peu tardivement, son déroulement a pu suivre son cours normal de sorte que les objectifs aient pu être atteints dans les délais prévus. Tout au long du projet, de fréquents contacts ont été maintenus avec l'autorité scientifique, (y compris une réunion à Ottawa en janvier 1995) et nous tenons à l'en remercier pour les échanges fructueux dont nous avons bénéficié.

1.1 PROBLÉMATIQUE

Dans la recherche des codes perforés de taux de codage $R = b/V$, il faut en principe déterminer le code origine de taux $R = 1/V_0$ ainsi que la matrice de perforation $[P]$ de dimensions $V_0 \times b$. Les éléments de $[P]$ sont binaires (0, 1) où un 0 correspond à éliminer, c'est-à-dire perforer, le symbole codé à la sortie du codeur, et où un 1 correspond à garder ce symbole [1].

Par conséquent, par un choix judicieux du codeur origine et du patron de perforation (c'est-à-dire de la matrice de perforation) il est possible, en principe, d'obtenir tout code de taux de codage $R=b/V$ désiré. De plus, il est clair que pour un même codeur origine de taux $R = 1/V_0$, toute une gamme de codes perforés pourra être obtenue en modifiant seulement la matrice de perforation P . Le problème est donc de choisir le codeur origine et la matrice de perforation pour obtenir le meilleur code possible selon un critère de performance donné: maximisation de la distance libre; minimisation de la probabilité d'erreur etc. Il va de soi que ce code devra aussi ne pas être catastrophique, c'est-à-dire ne pas propager les erreurs.

Le choix du codeur origine peut être grandement simplifié en utilisant la notion intuitive selon laquelle « les bons codes génèrent les bons codes ». Par conséquent, on pourrait choisir comme codeur origine le meilleur code connu de taux $R = 1/2$ ou $R = 1/3$ ou $R = 1/4$, et analyser de façon exhaustive tous les patrons de perforation possibles pour générer le meilleur code perforé de taux $R=b/V$. Cependant, dans la plupart des cas, l'utilisation de codes origine de taux $R = 1/V_0 = 1/2$ est largement favorisée en pratique et a été appliquée dans cette étude [2]-[8].

Utilisant les meilleurs codes connus de taux $R = 1/2$, la recherche des meilleurs codes perforés revient à la recherche de la meilleure matrice de perforation seulement. La théorie du codage n'offrant pas de méthode de construction systématique des matrices de perforation pour obtenir le meilleur code perforé, toutes les alternatives de perforation sont examinées de façon exhaustive. Pour chaque matrice de perforation il s'agit de déterminer le spectre de distance et de choisir la matrice de perforation fournissant la distance libre maximale ou la probabilité d'erreur minimale.

La distance libre et le spectre de distance, d'un code convolutionnel sont déterminés par une recherche exhaustive dans l'arbre ou le treillis d'encodage. Plusieurs algorithmes et procédures de détermination des spectres existent. Il est clair que ces algorithmes doivent être modifiés pour tenir compte de la matrice de perforation. En général, la complexité (mémoire requise et / ou temps d'exécution) de ces algorithmes dépend du code et du nombre de termes désirés dans le spectre. Pour les codes perforés le problème se complique d'avantage, car puisque la perforation d'un code diminue sa distance libre, la recherche du spectre jusqu'à un nombre de termes donné, c'est-à-dire jusqu'à une distance de Hamming donnée, requiert une exploration nettement plus poussée de l'arbre ou du treillis que pour le code origine [6].

Enfin, la connaissance du spectre de distances d'un code permet d'évaluer des bornes supérieures sur sa performance d'erreur aussi bien pour un canal binaire symétrique (quantification dure) que pour un canal à quantification douce. Les matrices génératrices, les distances libres et les spectres de distance des codes perforés ainsi que les bornes sur les performances d'erreur sont fournis en détail dans ce rapport.

Le rapport est organisé comme suit. Après un bref rappel des notions de codage convolutionnel, le problème des codes convolutionnels de taux élevés par la méthode conventionnelle est présenté au chapitre 2. Le calcul des bornes supérieures sur les performances d'erreur est succinctement traité dans ce chapitre, où on fait ressortir l'importance du spectre des distances. Les codes convolutionnels perforés de taux de codage élevé font l'objet du chapitre 3. On y présente en particulier les caractéristiques des matrices de perforation, et leurs généralisations qui permettent d'élargir les notions de codes perforés pour inclure aussi les codes de taux de codage faibles. Le problème de la détermination des bons codes convolutionnels par recherche exhaustive dans

l'arbre d'encodage est abordé au chapitre 4. Un algorithme de détermination des spectres de distance est présenté en détail. Enfin, les résultats sont regroupés au chapitre 5. On y présente des listes des meilleurs codes perforés de taux $R = 2/3, 3/4, 4/5$ et $7/8$ et de mémoires $M = 5, 6, 7$ et 8 . Pour chaque code on fournit la matrice de perforation, les générateurs du codeur origine de taux $R=1/2$, le spectre des distances sur une étendue égale à au moins 3 fois d_{libre} , des tableaux détaillés des performances d'erreur pour des canaux gaussiens non quantifiés et pour des canaux binaires symétriques. Enfin les bornes supérieures sur les probabilités d'erreur par bit sont tracées.

Mentionnons pour finir que, à la demande de l'autorité scientifique, nous avons aussi effectué une recherche des meilleurs codes perforés de taux faibles. Cette approche novatrice permet encore d'effectuer du codage et du décodage à taux variable de manière pratique et efficace. Utilisant le meilleur code connu de taux $R = 1/6$, nous avons donc déterminé les nouveaux codes perforés de taux $R=1/5, 1/4, 1/3, et 1/2$, tous de mémoire $M = 6$, et avons établi leurs performances d'erreur.

CHAPITRE 2

ÉLÉMENTS DE CODAGE CONVOLUTIONNEL

2.1 INTRODUCTION

Un des défis des nouvelles générations de systèmes de communications numériques, terrestre ou par satellite, est de fournir des transmissions très fiables à une variété de services d'information incluant la parole, les données, les images, etc... L'utilisation du codage de canal ou codage correcteur d'erreurs dans ces systèmes constitue une des approches parmi les plus attrayantes, des points de vue coût et complexité, pour atteindre les performances d'erreur requises. Une amélioration substantielle de la qualité du canal de transmission peut être obtenue si les codes correcteurs d'erreurs sont choisis de façon judicieuse et si une technique de décodage efficace est utilisée. Le gain de codage permis par le système correcteur d'erreur peut se traduire par une diminution de la puissance de transmission ou par une augmentation du débit pour une même performance d'erreur. Dans le cas de systèmes à accès multiples par répartition des codes (AMRT, ou en anglais, Code Division Multiple Access - CDMA), le gain de codage peut aussi se traduire par une meilleure tolérance aux interférences et de là, à une augmentation de la capacité du système exprimée en nombre d'utilisateurs. Aussi dans tous les systèmes de communications numériques modernes, le codage correcteur d'erreur est devenu un élément intrinsèque de conception de ces systèmes [9]-[13].

En plus d'être puissantes et efficaces, les procédures de codage doivent aussi être pratiques et fiables. Dans ces systèmes, un problème important consiste à analyser et développer des techniques de codage et de décodage pouvant délivrer une performance d'erreur donnée avec des codeurs et des décodeurs de complexité acceptable. Dans un grand nombre de systèmes de communications pour les liaisons terrestres et par satellites, les systèmes de contrôle des erreurs utilisant les codes convolutionnels avec décodage probabiliste (tel le décodage de Viterbi) sont parmi les plus utilisés car les plus attrayants tant du point de vue de leur performance d'erreur que de celui de leurs réalisations matérielles [14].

2.2 NOTIONS DE BASE SUR LE CODAGE

L'efficacité d'un système de communications numériques est généralement mesurée par le rapport signal-à-bruit E_b/N_0 par bit d'information requis pour atteindre une performance d'erreur donnée. Cette performance d'erreur peut être exprimée par la probabilité d'erreur de séquence P_E , ou plus souvent, par la probabilité d'erreur par bit P_b .

Soit P la puissance du signal reçu au récepteur, N_0 le spectre de densité de puissance du bruit blanc dans un canal sans mémoire, et soit R_s le débit des données de la source en bits d'information par seconde. La relation

$$E_b/N_0 = P / (N_0 R_s) \quad (2.1)$$

sert souvent de facteur de mérite pour comparer différentes combinaisons de procédures de codage et de modulation. Il est clair qu'une procédure de codage ou de modulation qui réduit la valeur de E_b/N_0 requise pour atteindre une probabilité d'erreur donnée peut conduire à une augmentation du débit de la source R_s , ou à une réduction de la puissance reçue P ou à une combinaison des deux. Le problème fondamental revient donc à déterminer le système ou la procédure qui fonctionnera à une valeur minimale de E_b/N_0 pour fournir une performance donnée sous la contrainte de disponibilité de la largeur de bande requise [9]-[12].

On appelle **gain de codage** l'amélioration obtenue avec un système de codage donné par rapport à un système non codé. C'est la différence, exprimée en dB, des valeurs de E_b/N_0 requises pour une probabilité d'erreur donnée entre ce système de codage et un système non codé, tel la modulation PSK cohérente parfaite. La valeur minimale de E_b/N_0 qui permettrait en théorie une communication sans erreur est égale à -1.6 dB et s'appelle la **valeur limite de Shannon**. Bien qu'aucun système connu ne fonctionne à une valeur s'approchant de la limite de Shannon, des systèmes pratiques utilisant le codage convolutionnel permettent d'obtenir des gains de codage très attrayants, de l'ordre de 5 à 7 dB [9]-[12].

2.3 CODAGE CONVOLUTIONNEL

Dans cette section on rappelle brièvement les notions de base du codage convolutionnel et des structures en arbre ou en treillis du processus d'encodage de l'information, ces notions étant essentielles à la compréhension des opérations de recherche des meilleurs codes ainsi que de celles de décodage. Bien que ce rapport traite essentiellement des codes convolutionnels de taux de codage $R=b/V$ et en particulier des codes perforés, on présente d'abord les codes de taux $R=1/V$. Le traitement des codes de taux $R=b/V$ sera considéré comme une généralisation de celui des codes de taux $R=1/V$ [9], [15]-[17].

2.3.1 STRUCTURE DES CODES CONVOLUTIONNELS

Un codeur convolutionnel de taux de codage $R=1/V$ peut être représenté par une machine séquentielle linéaire à états finis composée d'un registre à décalage de K cellules, de V additionneurs modulo-2 connectés à certaines cellules du registre à décalage, et d'un commutateur qui balaye les V additionneurs modulo-2. L'ensemble des connexions est généralement décrit par V vecteurs de dimension K appelés **générateurs**. Ces générateurs $\underline{G} = \underline{G}_1, \underline{G}_2, \dots, \underline{G}_V$ sont des vecteurs binaires, où la j^{e} composante g_{ij} du vecteur \underline{G}_i est égale à 1 si la cellule j du registre à décalage est connectée à l'additionneur modulo-2 i ; sinon la composante g_{ij} est égale à zéro, avec $i = 1, 2, \dots, V, j = 1, 2, \dots, K$. Par commodité, les générateurs des codes sont habituellement donnés en notation octale. Par exemple, les générateurs du codeur convolutionnel $K = 3, R = 1/2$ montré sur la figure 2.1 sont $G_1 = 5$, et $G_2 = 7$.

Un codeur convolutionnel fonctionne comme suit: les bits d'information des données sont introduits par la gauche, un bit à la fois dans le registre à décalage, et après chaque décalage, les additionneurs modulo-2 sont échantillonnés en séquence par le commutateur, fournissant ainsi V symboles codés qui sont modulés et transmis dans le canal. Le taux de codage est donc $R = 1/V$. Pour ces codeurs binaires simples, la longueur K du registre à décalage s'appelle la **longueur de**

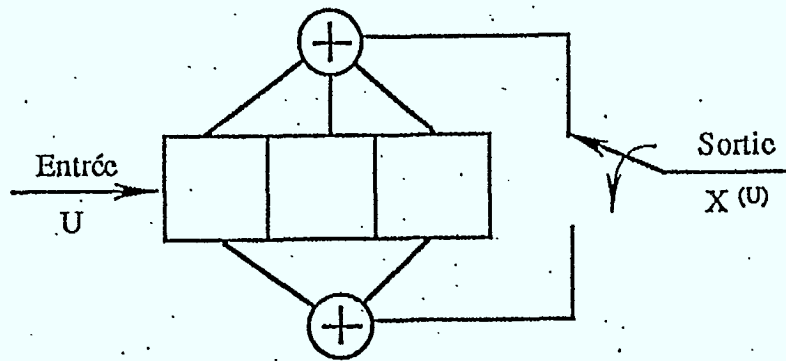


FIGURE 2.1: Codeur convolusionnel, $K = 3$, $R = 1/2$

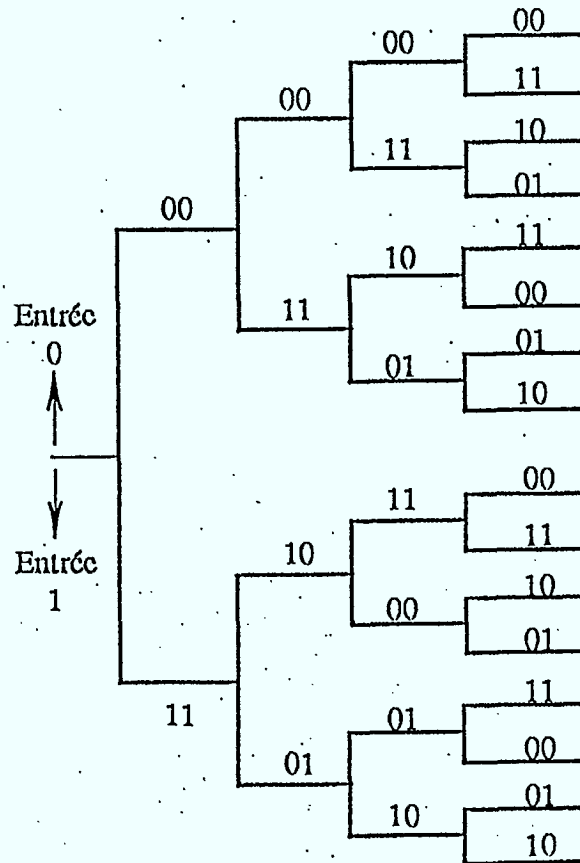


FIGURE 2.2: Arbre d'encodage du code de la figure 2.1

contrainte du code. Un tel codeur peut être facilement généralisé, et admettre non pas 1 mais b bits à la fois dans le codeur, avec $b < V$; le taux de codage devient alors $R = b/V$.

Bien que la généralisation aux taux élevés $R = b/V$ soit en principe immédiate, la complexité des procédures de codage et surtout de décodage est telle que les codes conventionnels de taux $R = b/V$ deviennent très vite peu attrayants en pratique, voire même impossible à mettre en oeuvre. Cette difficulté peut cependant facilement être contournée par les codes à taux de codage élevés dits *codes perforés*. Les codes perforés sont traités au chapitre 3.

2.3.2 ARBRES, TREILLIS ET DIAGRAMME D'ÉTAT

Considérant seulement les codes convolutionnels de taux $R = 1/V$ et de longueur de contrainte K , à chaque bit d'information correspondent deux alternatives (0 ou 1) et donc deux branches d'un *arbre*, chacune portant V symboles codés. L'extrémité de chaque branche est un noeud caractérisé par un état du codeur. L'état du codeur est le contenu des $(K-1)$ premières cellules du registre à décalage, et par conséquent le nombre d'états distincts est égal à $2^{(K-1)}$.

Un chemin dans l'arbre est spécifié par la séquence d'information qui est entrée dans le codeur et deux chemins reconvergent (i.e. ont le même état terminal) si leurs $(K-1)$ derniers bits d'information sont identiques. Au-delà d'une profondeur n , $n \geq K-1$, l'arbre comporte 2^n noeuds mais 2^{K-1} états distincts. Par conséquent, une proportion 2^{n-K+1} des noeuds à la profondeur n ont même état et sont identiques. L'arbre d'encodage contient donc une énorme redondance qui peut être éliminée en ne gardant qu'un seul chemin au-delà de chaque noeud de reconvergence. L'arbre devient alors un *treillis* ayant 2^{K-1} états, et pour une séquence d'information de longueur L bits, les chemins dans l'arbre ou le treillis ont donc une longueur maximale égale à L branches. Un exemple d'arbre et de treillis correspondant au codeur de la figure 2.1 est donné sur les figures 2.2 et 2.3.

Une autre représentation appelée *diagramme d'état* met en évidence les relations qui existent entre les 2^{K-1} états distincts d'un codeur en éliminant la caractéristique temporelle des représentations en arbre ou en treillis. Tout comme pour une représentation d'état d'une machine à états finis, les états du codeur forment les noeuds du diagramme d'état. Les arcs reliant ces noeuds correspondent aux transitions entre états, c'est-à-dire aux branches portant les V symboles codés associés au bit d'information qui a provoqué la transition. Le diagramme d'état du codeur de la figure 2.1 est montré à la figure 2.4.

2.4 DISTANCES DE HAMMING ET SPECTRE DES DISTANCES DES CODES CONVOLUTIONNELS

Les codes convolutionnels étant des codes linéaires, leurs distances de Hamming minimales sont une mesure de leur puissance de correction d'erreur. Cependant à l'encontre des codes en blocs, il existe plusieurs mesures de distance pour les codes convolutionnels, et chacune d'elles est importante pour une technique de décodage particulière: décodage de Viterbi, décodage séquentiel, décodage à seuil, etc...

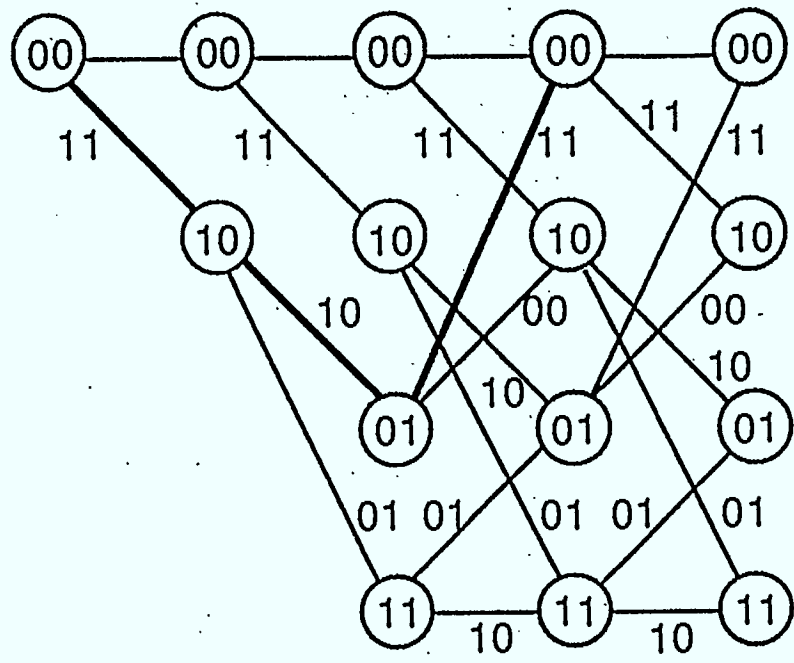


FIGURE 2.3: Treillis correspondant à l'arbre de la figure 2.2

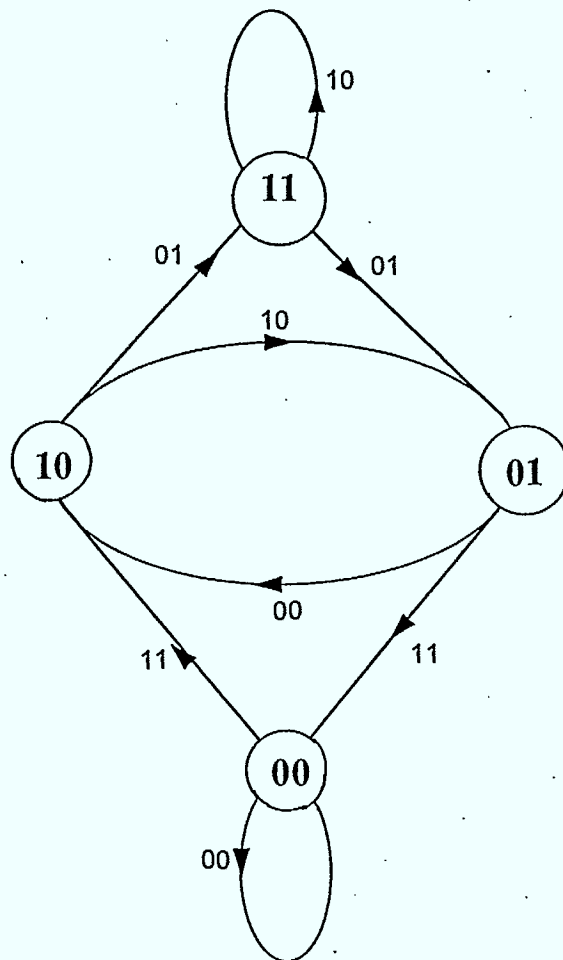


FIGURE 2.4: Diagramme d'état du codeur de la figure 2.1

Les deux principales distances de Hamming pour les codes convolutionnels sont la *distance minimale* d_{min} et la *distance libre minimale* d_{libre} . Ces deux distances sont deux valeurs particulières d'une mesure de distance plus générale appelée *fonction de distance des colonnes*. On appelle fonction de distance des colonnes d'ordre n , dénotée $d_c(n)$, d'un code convolutionnel, la distance de Hamming minimale entre toutes les paires de mots de code de longueur n branches qui diffèrent entre elles à la première branche. La fonction $d_c(n)$ est non décroissante avec n , et admet deux valeurs particulières intéressantes:

$$d_{min} = d_c(K) \quad (2.2)$$

et

$$d_{libre} = \lim_{n \rightarrow \infty} d_c(n) \quad (2.3)$$

La *distance minimale* d_{min} est la distance de Hamming minimale des chemins incorrects sur une longueur égale à une longueur de contrainte, alors que la *distance libre* d_{libre} est la distance de Hamming minimale des chemins incorrects pour des longueurs indéterminées. Par conséquent d_{libre} correspond aux chemins incorrects qui ayant divergé du chemin correct, y reconvergent plus loin avec une distance de Hamming minimale. Les codes convolutionnels étant des codes linéaires, on peut choisir la séquence composée de zéros comme étant le chemin correct, de sorte que la distance d_{libre} correspond aux chemins incorrects qui divergent de l'état zéro pour y reconverger plus loin, sur une longueur indéterminée, avec un poids de Hamming minimal. Cette notion de reconvergence des chemins incorrects avec l'état zéro est essentielle au problème de la détermination du spectre des distances des codes convolutionnels. En général $d_{libre} > d_{min}$, mais pour de nombreux codes, on peut avoir $d_{libre} = d_{min}$.

Dans l'établissement des bornes supérieures précises sur les performances d'erreur des codes convolutionnels, la connaissance de la distance libre seulement est en général insuffisante. La connaissance du nombre de mots de codes aux distances d_{libre} , $(d_{libre} + 1)$, $(d_{libre} + 2)$, ..., ainsi que la connaissance du nombre de bits d'information en erreur sur ces mots de code est essentielle à une évaluation précise de bornes supérieures sur les probabilités d'erreur de séquence et par bit du code. On appelle *spectre de distance* la distribution des triplets $\{a_j, c_j, D^j\}$ où:

- a_j représente le nombre de mots de codes à une distance j du chemin correct,
- c_j représente le nombre total de bits d'information en erreur sur ces mots de code.
- D^j représente la distance ou poids de Hamming j des mots de code.

En plus de permettre le calcul de bornes sur les performances d'erreur, la connaissance du spectre d'un code renseigne sur ses caractéristiques et sur sa structure fine. Par conséquent la recherche des meilleurs codes convolutionnels revient souvent à en déterminer leurs spectres. Cette détermination des spectres est essentiellement une exploration exhaustive de tous les chemins incorrects dans la structure en arbre du code.

Utilisant des algorithmes de recherche de spectres des codes convolutionnels développés à l'École Polytechnique, les spectres des meilleurs codes convolutionnels connus ont été déterminés au-delà des poids de Hamming disponibles dans la littérature. Ces spectres étendus ont permis de calculer des bornes supérieures serrées sur la probabilité d'erreur des codes d'intérêt dans le projet. Ces bornes sur la probabilité d'erreur sont établies selon la méthode décrite ci-après.

2.5 BORNES SUPÉRIEURES SUR LA PERFORMANCE D'ERREUR

Pour des canaux discrets sans mémoire, l'établissement de bornes supérieures sur la probabilité d'erreur peut être obtenue par application d'une borne union sur la fonction de transfert $T(D,B)$ du code. Cette fonction de transfert $T(D,B)$ décrit de façon complète le spectre du code, c'est-à-dire le nombre de chemins de poids de Hamming D^j , $j \geq d_{\text{libre}}$, ainsi que le nombre de bits d'information en erreur sur ces chemins [9], [12], [16], [17]. Bien que la fonction de transfert ne soit connue que pour des codes de longueur de contrainte courte, des bornes supérieures serrées peuvent être obtenues en n'utilisant que les premiers termes du spectre. Connaissant la fonction de transfert du code, les premiers termes $\{a_j\}$ $\{c_j\}$ du spectre des distances du code sont donnés par

$$T(D,B)|_{B=1} = \sum_{j=d_{\text{libre}}}^{\infty} a_j D^j \quad (2.4)$$

et

$$\frac{dT(D,B)}{dB}|_{B=1} = \sum_{j=d_{\text{libre}}}^{\infty} c_j D^j \quad (2.5)$$

Utilisant ce spectre, des bornes supérieures sur les probabilités d'erreur de séquence P_E et par bit P_b du code sont données par

$$P_E \leq \sum_{j=d_{\text{libre}}}^{\infty} a_j P_j \quad (2.6)$$

$$P_b \leq \sum_{j=d_{\text{libre}}}^{\infty} c_j P_j \quad (2.7)$$

où P_j est la probabilité d'erreur entre deux mots de code ayant entre eux une distance de Hamming j . Il est donc clair que P_b dépendra de P_j , qui à son tour dépend du type de modulation utilisée. Par exemple, pour une modulation cohérente PSK et un canal non quantifié, à bruit blanc et gaussien, on a:

$$P_j = Q\left(\sqrt{2jRE_b/N_0}\right) \quad (2.8)$$

où R est le taux de codage et où la fonction $Q(\cdot)$ est donnée par

$$Q(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} dx \quad (2.9)$$

Pour des conditions de canal fortement bruité l'expression de la probabilité d'erreur par paire P_j doit être serrée. Pour un canal binaire symétrique de probabilité de transition $p = Q\sqrt{2RE_b/N_0}$, P_j peut être exprimée exactement par les développements binomiaux suivants [9], [15].

$$P_j = \begin{cases} \sum_{i=\frac{j+1}{2}}^j \binom{j}{i} p^i (1-p)^{j-i} & , j \text{ impair} \\ \sum_{i=\frac{j}{2}}^j \binom{j}{i} p^i (1-p)^{j-i} + \frac{1}{2} \binom{j}{j/2} p (1-p)^{j/2} & , j \text{ pair} \end{cases} \quad (2.10)$$

L'utilisation des expressions exactes (2.10) pour P_j contribue de façon substantielle à obtenir des bornes serrées sur P_b .

Mentionnons que si la fonction de transfert du code était connue, alors la borne sur la probabilité d'erreur de séquence peut être calculée directement par:

$$P_E \leq T(D, B) \Big|_{B=1, D^j=P_j} \quad (2.11)$$

La borne sur la probabilité d'erreur par bit est donnée par:

$$P_b \leq \frac{dT(D, B)}{dB} \Big|_{B=1, D^j=P_j} \quad (2.12)$$

où P_j est encore exprimé par (2.8).

Il est clair qu'ici l'avantage de la technique est d'obtenir d'un seul coup toutes les composantes ou raies du spectre, mais tel que mentionné plus haut, à l'exception de codes très courts, la détermination de la fonction de transfert devient très vite pratiquement impossible et la méthode du spectre des distances est celle préférée.

2.6 CODES CONVOLUTIONNELS DE TAUX DE CODAGE ÉLEVÉS

Jusqu'à très récemment, les techniques de contrôle des erreurs utilisant les codes convolutionnels ont été largement dominés par les codes de taux de codage faible, $R = 1/V$, (typiquement $R = 1/2$, $1/3$ ou $1/4$). Des listes de codes optimaux de faibles taux de codage fournissant de grands gains de codage existent, et des décodeurs puissants fonctionnant à plusieurs dizaines de mégabits par seconde sont disponibles commercialement. Cependant un intérêt marqué se manifeste actuellement pour l'utilisation de codes convolutionnels performants de taux de codage R élevés, $R = b/V$, $1 < b < V$, (par exemple $R = 2/3$, $3/4$, ... $7/8$), surtout dans les applications où la largeur de bande est quelque peu limitée. En effet, pour ces codes, l'expansion de largeur de bande de transmission requise n'est que (V/b) au lieu d'être égale à V comme pour les codes de taux $R = 1/V$.

En conjonction avec ces codes de taux élevé il s'agit aussi de développer des techniques de codage et de décodage qui soient également pratiques et efficaces. Malheureusement l'application directe des techniques de décodage traditionnelles pour les codes de taux $R=1/V$ devient très vite impraticable pour les codes de taux $R > 2/3$. En effet pour les codes convolutionnels de taux

$R = 1/V$, deux branches portant chacune V symboles codés émergent de chacun des noeuds de l'arbre ou du treillis d'encodage, alors que pour les codes de taux $R = b/V$, chaque noeud donne naissance à 2^b branches. Comme les techniques traditionnelles de décodage consistent en une exploration des chemins de l'arbre ou du treillis d'encodage, l'application directe de ces techniques au décodage des codes de taux élevés conduit à une augmentation considérable de l'effort de calcul, et devient très vite inacceptable.

Ces difficultés ont été contournées récemment par l'avènement des codes convolutionnels dits *perforés* de taux de codage élevés. Le codage et surtout le décodage des codes perforés de taux élevé n'est guère plus complexe que celui des codes de faibles taux, et de plus, les techniques de décodage traditionnelles peuvent très facilement être appliquées au décodage adaptatif et au décodage à taux variable [1]-[8].

Enfin contrairement aux codes traditionnels de taux élevés dont la pénurie est remarquable pour des codes de taux $R > 2/3$, de très bons codes perforés de taux $R = 2/3, 3/4, 4/5, 7/8...$ sont listés dans la littérature. Après une brève introduction aux codes traditionnels de taux élevés, les codes perforés sont présentés: des listes des meilleurs codes perforés connus de taux $R = 2/3, 3/4, 4/5$ et $7/8$ sont fournis. Leurs spectres de distances sur une étendue substantielle ont été déterminés et des bornes supérieures sur leurs performances d'erreur pour des canaux gaussiens ont été calculées.

2.7 CODAGE CONVOLUTIONNEL DE TAUX ÉLEVÉS: APPROCHE CONVENTIONNELLE

Tout comme pour les codeurs de taux $R = 1/V$, un codeur convolutionnel binaire de taux $R = b/V$, peut être représenté par une machine séquentielle linéaire à états finis composée d'un registre à décalage de longueur K bits et de V additionneurs modulo-2 connectés à certaines cellules du registre à décalage. L'ensemble des connexions entre le registre à décalage et les additionneurs spécifie encore le code. Cependant, si le taux de codage est $R = b/V$ alors les données à encoder sont introduites b bits à la fois, provoquant ainsi un décalage de b positions du contenu du registre à décalage, et produisant V symboles codés, $V > b$, qui sont recueillis à la sortie des V additionneurs modulo-2. Le taux de codage est donc $R = b/V$ bits/symbole. Dans cette représentation par registre à décalage unique, la *longueur de contrainte* du code (en bits d'information) est définie comme étant le nombre total de bits dans le registre qui peuvent influencer la sortie du codeur; c'est donc la longueur totale K du registre à décalage. L'état du codeur est spécifié par le contenu des $(K - b)$ premières cellules du registre à décalage [9], [12], [16], [17]. La longueur K n'étant pas toujours un multiple de b , une représentation en parallèle du codeur est souvent préférable. Le codeur est alors composé de b registres à décalage de longueurs k_i , $i = 1, 2, \dots, b$, connectés aux V additionneurs modulo-2. Les données sont introduites un bit à la fois mais simultanément dans chacun de b registres à décalage. Naturellement, dans ce cas, chaque registre n'est décalé que d'un seul bit bien que b bits aient été introduits dans le codeur. A chaque cycle d'encodage, aux b bits d'information on fait correspondre 2^b branches d'un arbre, chacune d'elle codée en V symboles. Par conséquent, une séquence de $L b$ bits d'information va déterminer dans l'arbre d'encodage un chemin particulier de longueur L branches et codés en LV symboles. Un exemple de codeur convolutionnel de longueur de contrainte $K = 4$ et de taux

$R=2/3$ est montré à la figure 2.5 et son arbre d'encodage à la figure 2.6. Le treillis du codeur est montré à la figure 2.7 et le diagramme d'état est représenté à la figure 2.8.

Tel que mentionné précédemment, tous les b registres à décalage ne sont pas nécessairement constitués du même nombre de cellules. Dans ce cas, la notion de longueur de contrainte devient quelque peu imprécise et il est alors préférable de considérer plutôt la *mémoire* du codeur. Cette mémoire M est définie par

$$M = \sum_{i=1}^b m_i \quad (2.13)$$

où m_i correspond au nombre de cellules du registre i , $i = 1, 2, \dots, b$, en omettant les cellules d'entrée. Par exemple pour le codeur de taux $R = 3/4$ à 3 registres à décalage montré à la figure 2.9, la mémoire totale est égale à $M = 8$. Tel que montré ci-dessus, la structure d'un codeur de taux $R = b/V$ est b fois plus complexe que celle d'un codeur de taux $R = 1/V$. Le nombre de branches issues de chaque noeud de l'arbre d'encodage d'un code de taux $R = b/V$ étant égal à 2^b , la complexité d'un décodeur de Viterbi est donc multipliée par un facteur de 2^b . Par conséquent, ces techniques de décodage deviennent très vite impraticables pour des codes de taux supérieur à $R = 2/3$. Cependant l'avènement des codes perforés a permis de contourner entièrement les accroissements de complexité des codeurs et des décodeurs pour les codes de taux élevés.

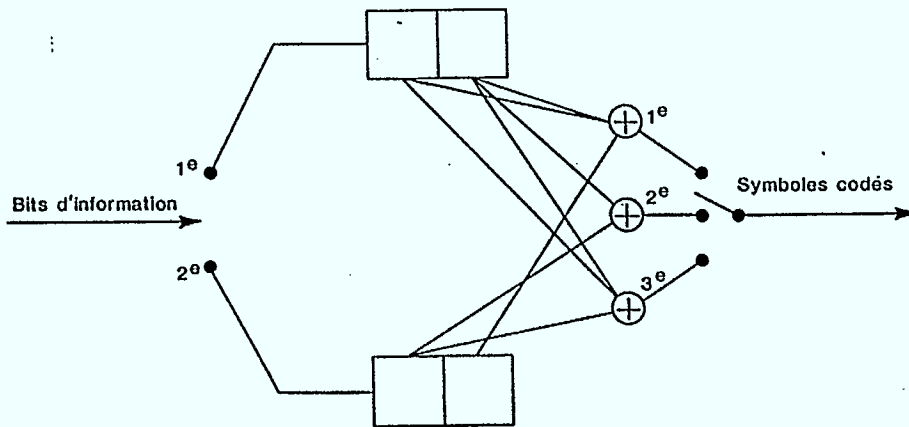


FIGURE 2.5: Schéma de codeur convolutionnel de taux $R=2/3$, $K=4$, $V=3$, $b=2$.

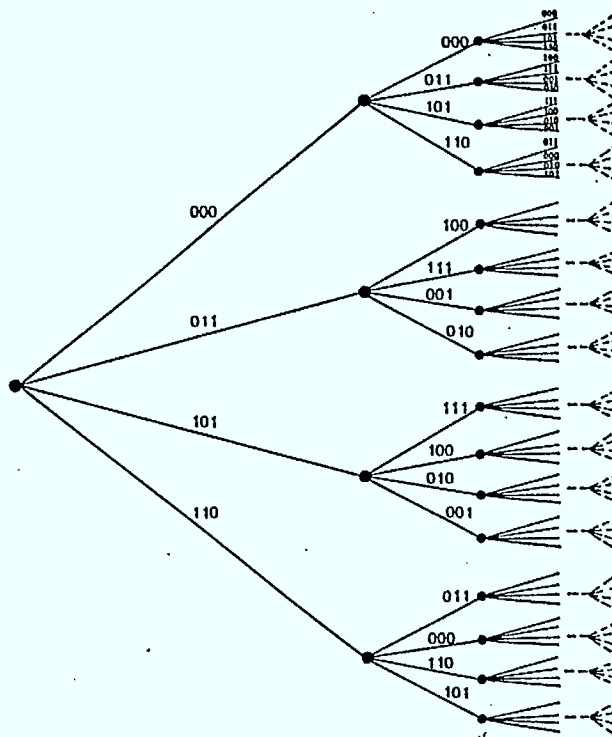


FIGURE 2.6: Arbre d'encodage du codeur de la figure 2.5.

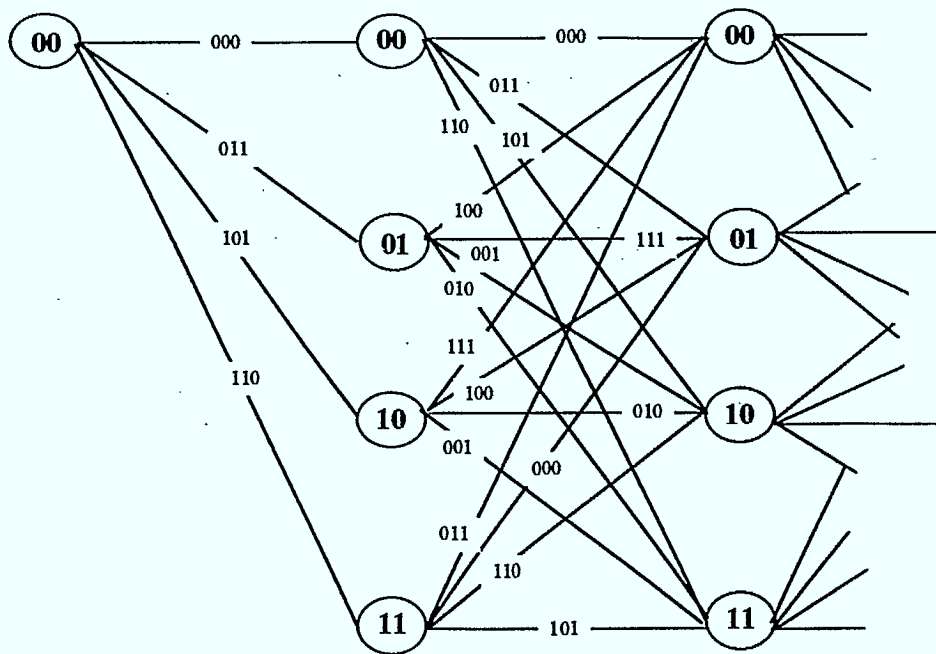


FIGURE 2.7: Treillis correspondant au codeur de la figure 2.5

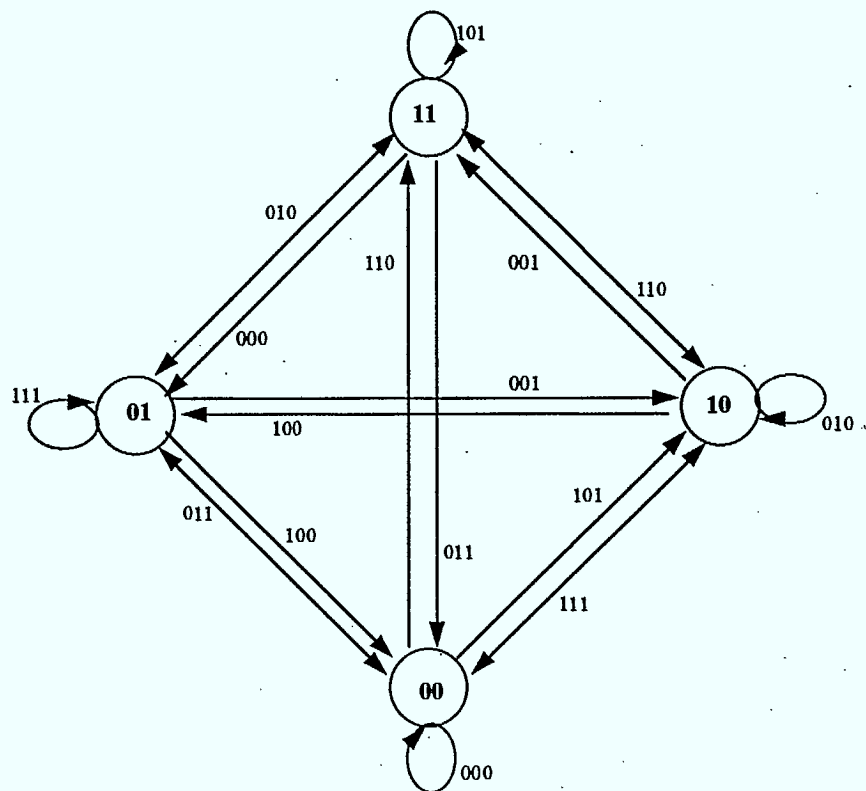


FIGURE 2.8: Diagramme d'état associé au codeur de la figure 2.5

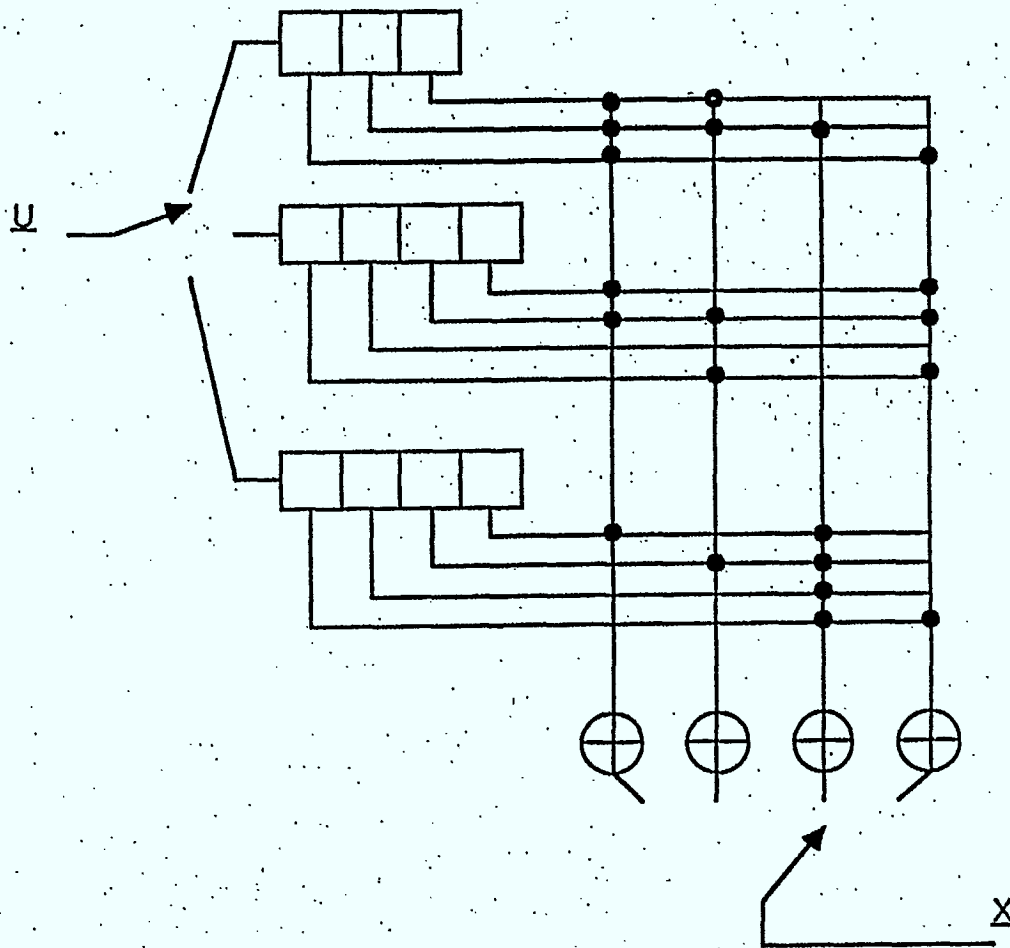


FIGURE 2.9: Codeur de mémoire $M=6$ et de taux de codage $R=2/3$

CHAPITRE 3

CODES CONVOLUTIONNELS PERFORÉS DE TAUX DE CODAGE ÉLEVÉS

Les codes convolutionnels perforés sont une classe de codes convolutionnels à haut taux de codage $R = b/V$ qui sont obtenus à partir de codes convolutionnels de faible taux $R = 1/V$ par perforation (c'est-à-dire élimination) de certains symboles codés.

La perforation consiste à éliminer périodiquement un certain nombre de symboles codés de la sortie du codeur d'un code de faible taux appelé **codeur origine**. Le taux de codage est égal au rapport entre les bits d'information qui entrent dans le codeur et les symboles codés qui subsistent après la perforation. Le taux de codage résultant de l'opération peut donc être augmenté par rapport à celui du codeur origine.

Le concept de perforation est apparu dans la littérature en 1979. Les auteurs, Clark, Cain et Geist limitaient alors l'usage de la perforation aux codes de petites mémoires ($M < 6$) et au décodage de Viterbi [1]. Les autres travaux qui y ont fait suite ont étendu l'application de la perforation à des codes de grandes mémoires et au décodage séquentiel [6], [8], [18], [19].

3.1 CODAGE DES CODES CONVOLUTIONNELS PERFORÉS

Pour illustrer le principe des codes perforés considérons un code de taux $R = 2/3$ et de mémoire $M=2$ dont le treillis est illustré à la figure 3.1. Ce treillis comporte 4 états et de chacun d'entre eux 4 branches émergent, portant chacune 3 symboles codés. Considérons à présent un code de taux $R=1/2$ et de mémoire $M = 2$ illustré à la figure 3.2. Il est clair que pour obtenir un taux de codage égal à $R = 2/3$, un symbole codé doit être éliminé de tout groupe de 4 symboles codés. Si un symbole parmi chaque groupe de 4 symboles codés consécutifs (2 branches consécutives) était éliminé périodiquement, alors on obtiendrait un code de taux $R = 2/3$, puisque 2 bits d'information entrant dans le codeur produisent à la sortie 3 symboles codés. Dans l'exemple de la figure 3.2 en éliminant périodiquement le 4^e symbole codé (représenté par un X sur le dessin), on observe que la structure résultante est identique à celle du code de taux $R = 2/3$ de la figure 3.1. Un code de taux $R = 2/3$ a donc été généré par un code origine de taux de codage $R = 1/2$. Il va de soi que la procédure n'est pas limitée à des codes origine de taux $R = 1/2$ seulement. Tout code origine de faible taux $R = 1/V_0$ pourrait être utilisé pour générer un code de taux $R = b/V$. Pour cela, à chaque groupe de $(V_0 b)$ symboles codés consécutifs issus de l'encodage de b bits d'information par le codeur origine, un nombre $S = (V_0 b - V)$ symboles sont éliminés selon un motif de perforation déterminé. Le taux de codage résultant est alors $R = b / (V_0 b - S)$, ce qui correspond bien au taux de codage désiré, $R = b/V$. Par un choix judicieux du code origine et du motif de perforation, en principe n'importe quel taux de codage peut donc être obtenu. Naturellement, la perforation du codage origine entraîne une diminution de sa distance libre, et cette diminution sera d'autant plus importante que le nombre de symboles perforés S est élevé. Il y a donc avantage à utiliser des codes origine de taux $R = 1/2$ si on veut obtenir des codes de taux $R > 1/2$. Un grand nombre de bons codes perforés construits à partir des meilleurs codes de taux $1/2$ ont été ainsi proposés pour des codes de taux variant de $2/3$ à $16/17$ [1]-[6].

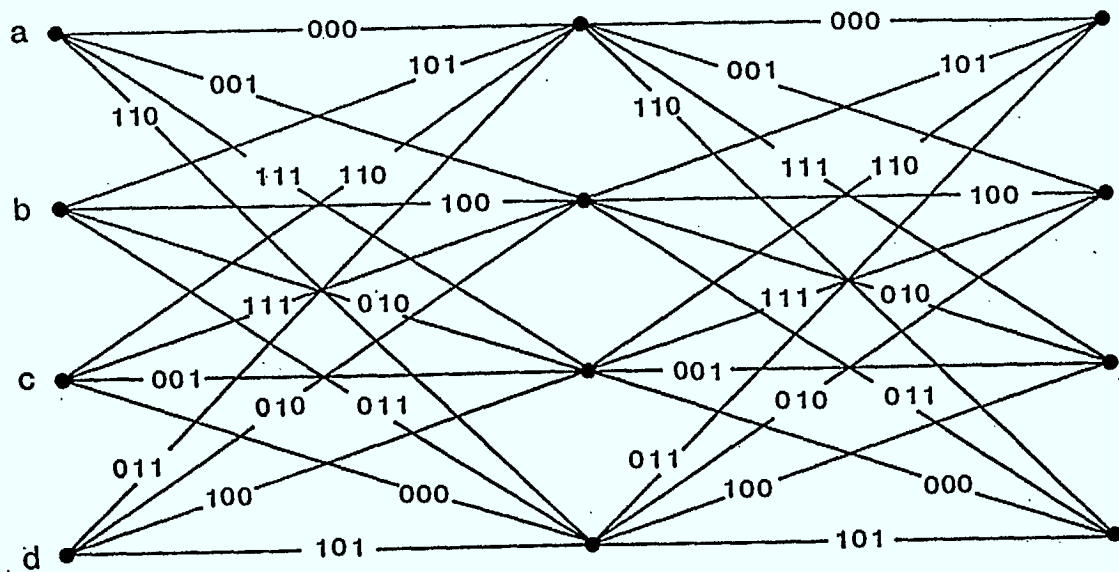


FIGURE 3.1: Treillis d'un code de mémoire $M=2$ et de taux de codage $R=2/3$

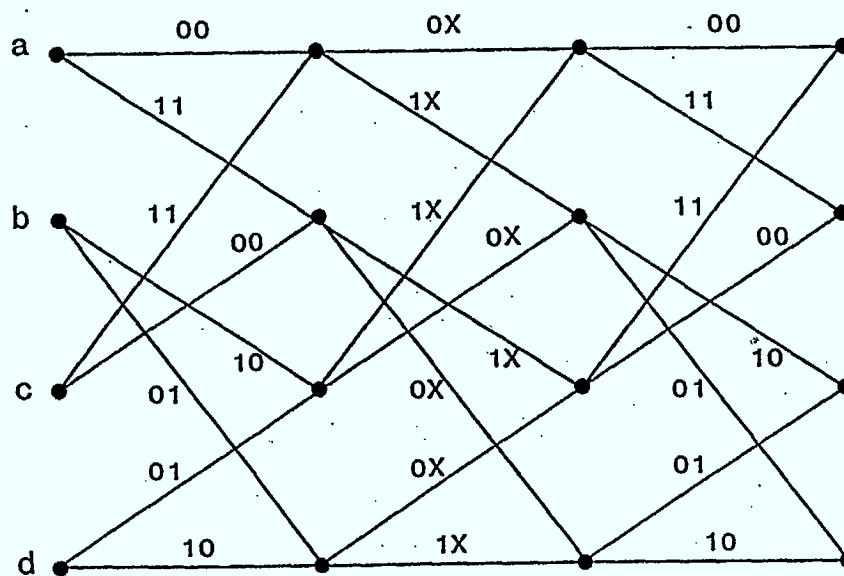


FIGURE 3.2: Treillis d'un code de mémoire $M=2$ et de taux $R=1/2$
(les symboles perforés sont indiqués par X)

3.2 MATRICE DE PERFORATION

Un code perforé de taux $R = b/V$ dépend du code origine de taux $1/V_0$, du nombre b de branches consécutives ainsi que du nombre S et de la position des symboles perforés. Le schéma d'élimination ou de perforation des symboles à la sortie du codeur origine s'appelle *patron de perforation*. Ce patron de perforation peut être commodément spécifié par une matrice binaire [P] appelée *matrice de perforation* ayant V_0 rangées et b colonnes. Chaque colonne est associée à une branche du code origine, et pour un code de taux $R = b/V$, le patron de perforation est dit être de longueur b . Les éléments de [P] valent 0 ou 1 correspondant à l'élimination ou au maintien des symboles codés du code origine. Il est clair que [P] correspond au patron de perforation utilisé pour générer le code perforé désiré. Par conséquent, pour un même codeur origine plusieurs codes perforés de taux de codage différents peuvent être obtenus en modifiant le patron de perforation, c'est-à-dire en changeant les dimensions et les éléments de la matrice de perforation [P]. Par exemple la matrice de perforation correspondant au code de taux $R = 2/3$ dont le treillis est illustré à la figure 3.2 est

$$[P_1] = \begin{bmatrix} 11 \\ 10 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

alors que pour un code de taux $R = 6/7$ issu du même code origine de taux $R = 1/2$, la matrice de perforation pourrait s'écrire

$$[P_2] = \begin{bmatrix} 101110 \\ 010011 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

La matrice [P₁] indique que sur la 1^{ière} des deux branches consécutives du code de taux $R = 1/2$, les deux symboles codés sont préservés, alors que sur la branche suivante, le second symbole codé est éliminé, conduisant bien à un code de taux $R = 2/3$. Quant à la matrice [P₂], les 2 rangées indiquent encore un code origine de taux $R = 1/V_0 = 1/2$ et le nombre de colonnes égal à 6, indique que 6 branches consécutives du code origine doivent être considérées. Le patron de perforation indique qu'un symbole codé est éliminé de chacune des 6 branches consécutives à l'exception de la 5^e branche qui maintient ses deux symboles codés. Des 12 symboles codés issus du codeur origine, seulement 7 symboles sont préservés, conduisant donc à un code perforé de taux $R = 6/7$. D'une manière générale, pour un patron de perforation de longueur b , et un taux de codage $R = b/V$, le nombre de symboles codés préservés est donné par

$$V = \sum_{i=1}^{V_0} \sum_{j=1}^b P_{ij} \quad (3.3)$$

où $\{P_{ij}\}$ sont les éléments de [P] et où $1/V_0$ est le taux de codage du code origine.

Un codage à taux variable peut être facilement réalisé si tous les taux perforés requis sont déduits du même codeur origine de faible taux. Seules les matrices de perforation doivent être modifiées tel qu'illustré par [P₁] et [P₂] ci-dessus. Tel qu'illustré à la figure 3.3, un codeur de codes perforés

peut donc être réalisé par le codeur origine de faible taux suivi d'un sélecteur commandé par la matrice de perforation.

Le codage à taux variable peut être spécialisé en ajoutant la restriction que tous les symboles codés des codes perforés de taux de codage plus élevés appartiennent aux codes de taux de codage plus faibles. Cette restriction minimise en quelque sorte les modifications à apporter à la matrice de perforation lorsqu'on change le taux de codage de façon graduelle. Les codes perforés ainsi obtenus sont dits être à *taux compatibles*. Ces codes perforés à taux compatibles sont particulièrement utiles dans certaines applications de codage hybrides FEC/ARQ.

Un exemple de série de codes perforés compatibles de taux $R = 4/5, 4/6, 4/7$ est illustré par les 3 matrices suivantes

$$[P_1] = \begin{bmatrix} 1100 \\ 1011 \end{bmatrix} ; [P_2] = \begin{bmatrix} 1101 \\ 1011 \end{bmatrix} ; [P_3] = \begin{bmatrix} 1111 \\ 1011 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

où on peut observer que le passage de $[P_1]$ à $[P_2]$ et de $[P_2]$ à $[P_3]$ n'implique que le changement d'un élément de la matrice.

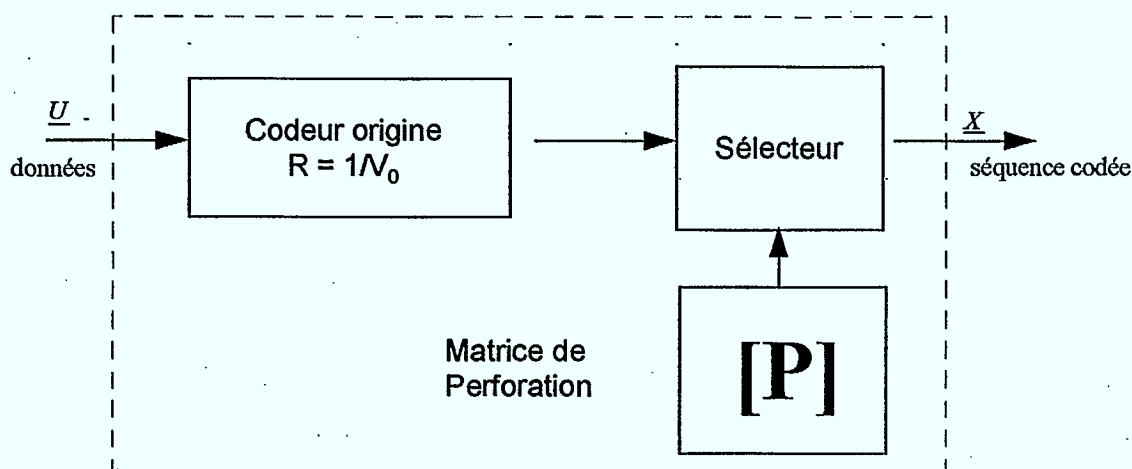


FIGURE 3.3: Schéma d'un codeur pour codes perforés

3.3 GÉNÉRALISATION

Les codes perforés décrits ci-dessus permettent de générer des codes de taux $R = b/V = (V-1)/V$. Cependant des codes perforés de taux $R = b/V$ où b et V peuvent prendre des valeurs arbitraires avec $b < V$ peuvent aussi bien être générés. En particulier, des codes de taux $R = b/V < 1/2$ peuvent être construits à partir d'un code origine de taux $R = 1/V_0$, où $b V_0 > V$. Par exemple pour construire un code perforé de taux $R = 3/8$, il suffirait de choisir un code origine de taux $R = 1/3$ et de déterminer la matrice de perforation ayant 3 colonnes et 3 rangées. Un seul des 9 éléments de cette matrice devra alors être perforé, mais néanmoins, on devra examiner 9 choix de matrices différentes. On pourrait aussi choisir un codeur origine de taux $R=1/4$ et perforer 4 des 12

éléments de la matrice de perforation de dimensions 4 x 3. Seul un examen des spectres de distances et le calcul des performances d'erreur permettrait de déterminer la meilleure solution pour le code perforé de taux $R = 3/8$, mais le nombre de matrices de perforation à considérer devient égal à $\binom{12}{4} = 495$.

Dans certaines applications, on peut chercher à construire des codes de taux de codage $R = 1/V$ très faibles. Dans ce cas, il s'agit de choisir comme code origine un bon code connu de taux $R = 1/V_0$ avec $V_0 > V$, et de perforer une seule branche de ce code. La matrice de perforation est alors dégénérée en un vecteur. Par exemple, un code de taux $R = 1/3$ pourrait être obtenu à partir d'un code origine de taux $R = 1/5$, par la matrice de perforation dégénérée

$$[P] = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Il est clair que d'autres procédures pourraient aussi être élaborées afin de construire, en principe, des codes perforés de n'importe quelle valeur de taux de codage, démontrant ainsi la très grande souplesse permise par l'approche des codes perforés.

Le problème de la recherche des meilleurs codes perforés revient à rechercher la matrice de perforation qui fournirait le meilleur code, c'est-à-dire, le code délivrant la probabilité d'erreur la plus faible ou ayant la distance libre la plus élevée. Dans chaque cas, la détermination du spectre des distances est essentielle pour évaluer le code. Par conséquent tout programme de recherche des meilleurs codes est tributaire de celui de la recherche des spectres de distance. Ce problème est abordé au chapitre 4.

3.4 PERFORMANCES D'ERREURS DES CODES PERFORÉS

L'analyse de la probabilité d'erreur des codes perforés est en tout point identique à celle des codes conventionnels. Cette analyse est encore basée sur la fonction de transfert $T(D, B)$ du code, ou à défaut de la connaissance de $T(D, B)$, l'analyse utilise le spectre du code, c'est-à-dire la distribution des poids de Hamming des chemins incorrects et du nombre de bits en erreur sur ces chemins. Le formalisme est le même que celui présenté à la section 2.5, mais où la différence provient de la division par b des expressions (2.6), (2.7), (2.11) et (2.12). On a donc

$$P_E \leq \frac{1}{b} \sum_{j=d_{\text{libre}}}^{\infty} a_j P_j \quad (3.6)$$

$$P_b \leq \frac{1}{b} \sum_{j=d_{\text{libre}}}^{\infty} c_j P_j \quad (3.7)$$

où P_j est encore la probabilité d'erreur entre deux mots de code séparés d'une distance de Hamming égale à j exprimée par (2.8).

Utilisant des procédures de recherche à l'ordinateur, les spectres étendus des meilleurs codes perforés de mémoires $5 \leq M \leq 8$ et de taux de codage $2/3 \leq R \leq 7/8$ générés à partir des meilleurs codes connus de taux $R = 1/2$ ont été obtenus, et leurs performances d'erreur sur des canaux gaussiens sans mémoire ont été calculées. Ces résultats sont fournis au chapitre 5.

CHAPITRE 4

RECHERCHE DE BONS CODES CONVOLUTIONNELS PERFORÉS

4.1 INTRODUCTION

Pour des codes convolutionnels conventionnels tout comme pour les codes perforés il est très rare que les codes offrant les meilleures caractéristiques ou les meilleures performances d'erreur puissent être déterminés de façon systématique. On utilise plutôt des techniques de recherche par ordinateur dans des graphes pour déterminer les codeurs qui produisent les codes convolutionnels les plus performants. Dans le cas des codes perforés, la situation se complique encore d'avantage car en plus du codeur origine, il faut aussi déterminer le patron de perforation qui produira le code perforé ayant les meilleures caractéristiques ou performances spécifiées au préalable. Ces caractéristiques ou performances étant toujours déduites du spectre des distances du code, par conséquent la technique de détermination des spectres joue un rôle primordial dans la recherche de ces codes.

Dans la recherche d'un bon code perforé de mémoire M et de taux de codage $R = b/V > 1/2$, la première étape consiste en la sélection du code origine. La mémoire étant souvent fixée d'avance on pourrait choisir pour les codes origine, un taux $R = 1/V_0 < 1/V$. Cependant, bien que réduire le taux de codage $1/V_0$ du code origine a pour effet d'en augmenter la distance libre, toute augmentation de V_0 conduit à l'élimination d'un plus grand nombre $S = (bV_0 - V)$ de symboles codés, pour obtenir le taux $R = b/V$, et par conséquent de diminuer la distance libre résultante. Ces deux effets contraires indiquent qu'une ambiguïté existe quant au choix du taux de codage optimal du code origine pour obtenir le meilleur code perforé. Néanmoins des considérations empiriques de mise en oeuvre et de disponibilité des codes tendent à favoriser l'utilisation de codes origine de taux $R=1/2$ pour générer les codes perforés de taux $R=(V - 1)/V$. Enfin exploitant le principe que "les bons codes génèrent des bons codes", les codes origine sont généralement choisis parmi les meilleurs codes conventionnels connus de taux $R= 1/2$.

Les codes origine sont donc en général fixés à l'avance, et la recherche des meilleurs codes perforés revient à déterminer les patrons de perforation produisant les meilleures performances. Par conséquent, utilisant un code origine connu de taux $R = 1/V_0$, pour obtenir le meilleur code perforé de taux $R = b/V$, il s'agit de déterminer les spectres des distances d'un nombre de matrices de perforation égal à $\binom{bV_0}{V}$ et dans chaque cas, d'en évaluer les performances d'erreur. Tel que mentionné plus haut l'étape du calcul des performances implique donc l'opération cruciale de détermination des spectres de distances.

4.2 DÉTERMINATION DU SPECTRE DES DISTANCES

La détermination du spectre d'un code convolutionnel, perforé ou non, s'effectue en général par une exploration exhaustive de l'arbre ou du treillis du code origine. Seuls les chemins incorrects (appelés aussi *raies* dans le contexte du spectre des distances) de poids de Hamming inférieur ou égal à une valeur prédéterminée L , sont évalués. Il s'agit donc de développer chacun des chemins

incorrects qui ont divergé de l'état zéro de l'arbre et d'accumuler au fur et à mesure toutes les informations nécessaires à la détermination du spectre du code.

À chaque noeud visité N , on calcule le poids de Hamming et le nombre de bits d'information 1 cumulés sur les chemins explorés aboutissant à ce noeud. L'exploration s'interrompt pour l'un des deux critères d'arrêt ci-dessous:

1. Le poids de Hamming est supérieur à L
2. Le noeud N a pour état, un état zéro valide, dénoté E_0 .

Lorsqu'un noeud d'état E_0 valide est atteint, le poids de Hamming et le nombre total de bits d'information 1 à ce noeud sont alors compilés dans le spectre. Le principe est simple à concevoir et plusieurs techniques d'exploration d'arbres binaires pourraient être utilisées. La véritable difficulté concerne le caractère exponentiel de l'effort de calcul requis. En effet, on montre que la proportion de noeuds E_0 décroît de façon exponentielle avec la mémoire M du code. De plus, le nombre de mots de code à explorer augmente de façon exponentielle avec la distance de Hamming cible L , $L \gg d_{\text{libre}}$ [20]-[22].

L'opération de perforation vient aggraver d'avantage ces tendances exponentielles. En effet, pour un code perforé de taux $R=b/V$, le nombre de noeuds E_0 valides diminue de façon linéaire avec b . D'autre part comme la perforation diminue le poids de Hamming des chemins du code origine, le nombre de noeuds à visiter afin d'atteindre tous les mots de code de poids inférieur ou égal à L devient encore plus grand pour un code perforé. Par conséquent le temps de calcul requis pour déterminer le spectre d'un code perforé sur une distance L peut rapidement devenir astronomique. Ces considérations de temps de calcul ont conduit au développement d'un certain nombre d'algorithmes de recherche de distances efficaces pour la détermination des spectres de distance. Certains algorithmes ont été spécialisés pour pouvoir s'appliquer particulièrement bien à des cas particuliers: nombre de raies du spectre; longueur de la mémoire du code; taux de codage, etc.

Ces algorithmes ont été développés à l'origine pour les codes convolutionnels conventionnels mais peuvent en principe être modifiés pour les codes perforés. Dans la section qui suit un algorithme de base dénoté algorithme *Simple* est décrit. Cet algorithme a servi à déterminer les spectres des codes perforés présentés dans ce rapport.

4.3 ALGORITHME *SIMPLE*

L'algorithme *Simple*, développé originalement pour les codes convolutionnels a été modifié pour traiter les codes perforés [20]-[22]. L'algorithme utilise une recherche d'exploration d'arbre binaire selon l'approche « profondeur », (en Anglais « depth-first »). L'algorithme aborde l'exploration de l'arbre d'une manière complètement symétrique, en développant chacun des chemins incorrects, de la racine de l'arbre jusqu'à son extrémité spécifiée par les deux critères d'arrêt définis plus haut. Un biais favorisant l'extension de la branche correspondant au bit d'information « 1 » est utilisé par commodité. La technique fait usage d'une structure de pile simple, de type LIFO ou « dernier entré premier sorti » pour stocker les noeuds visités. La pile reconnaît deux instructions élémentaires appelées **PUSH** ou insertion dans la pile, et **POP** ou retrait de la pile. Les quatre paramètres suivants sont stockés dans la pile:

ETAT(N)	:	état du noeud N
W(N)	:	poids total cumulé au noeud N
#1(N)	:	nombre total de branches correspondant à un bit d'information « 1 » cumulées au noeud N
Prof(N)	:	profondeur du noeud N dans l'arbre

L'organigramme montré à la figure 4.1 décrit le déroulement de l'algorithme. Après l'initialisation de la pile à la racine de l'arbre, l'exploration débute au noeud N d'état E_0 correspondant à la racine de l'arbre. L'extension de ce noeud produit deux noeuds correspondant respectivement au codage des bits d'information « 0 » (B0) et « 1 » (B1). Le noeud N_{B0} correspondant à la branche B0 est automatiquement inséré dans la pile (PUSH). Le noeud N_{B1} correspondant à la branche B1 devient le noeud courant et est prolongé à son tour. Également, le noeud associé à la branche B0 est inséré dans la pile et le noeud associé à la branche B1 devient alors le noeud courant. L'exploration se poursuit jusqu'à ce que le poids du noeud courant soit supérieur à L . Le noeud courant est alors remplacé par le dernier noeud inséré dans la pile. Le poids du nouveau noeud courant est alors comparé à L . Si ce poids est supérieur à L , un autre noeud est retiré de la pile (POP). Dans le cas contraire, on vérifie si le noeud courant est un noeud d'état E_0 valide. On utilise la propriété qu'un noeud d'état E_0 est valide si sa profondeur dans l'arbre est un multiple de b pour les codes perforés considérés comme des codes de taux élevé. Si, par contre, le code perforé est considéré comme étant un code de taux faible, alors tous les états zéros sont considérés comme des états E_0 valide. Deux éventualités sont envisagées:

1. Le noeud courant est un noeud d'état E_0 valide

Un nouveau mot de code est alors dénombré dans le spectre qui est mis à jour de la façon suivante:

$$\text{nombre de chemins} \quad a_{W(N)} = a_{W(N)} + 1 \quad (4.1)$$

$$\text{nombre de bits d'erreur} \quad c_{W(N)} = c_{W(N)} + \#1(N) \quad (4.2)$$

Après cette mise à jour le noeud est retiré de la pile (POP).

2. Le noeud courant N n'est pas un noeud d'état E_0 valide

Le noeud N est alors prolongé (PUSH).

Ce processus se poursuit indéfiniment jusqu'à ce que la pile soit vide.

Les paramètres associés aux noeuds correspondant aux branches B0 et B1 sont calculés directement à partir des paramètres associés au noeud courant N duquel ils sont prolongés, selon les relations de récurrence suivantes:

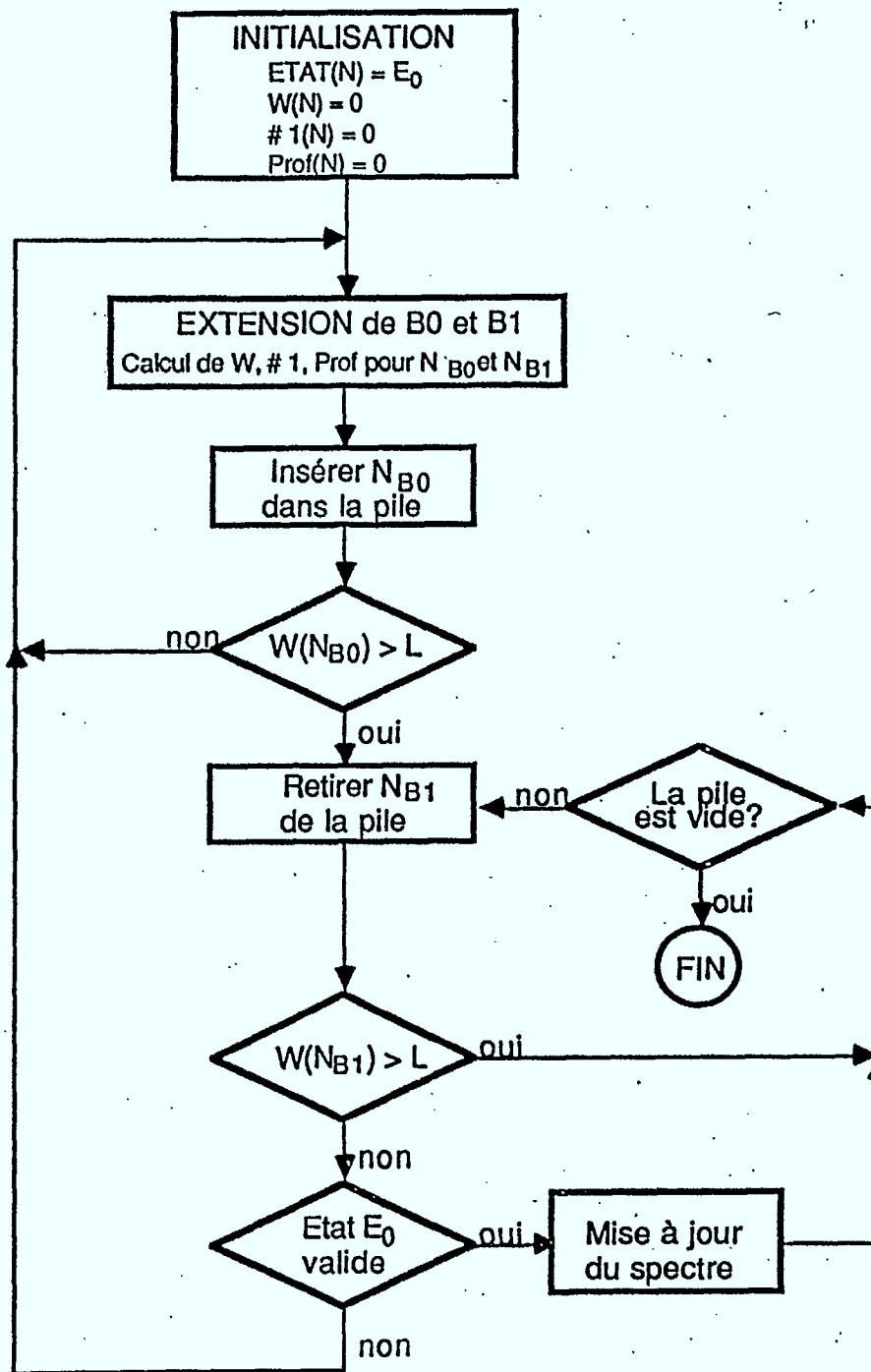


FIGURE 4.1: Algorithme *SIMPLE*

$ETAT(N_{B0}) = 2 ETAT(N) \bmod 2^M$:	la branche B1
$W(N_{B0}) = W(N) + w_0$:	poids de Hamming sur la branche B0
$\#1(N_{B0}) = \#1(N)$:	nombre de bits 1 sur la branche B0
$Prof(N_{B0}) = Prof(N) + 1$:	profondeur dans l'arbre
$ETAT(N_{B1}) = (2 ETAT(N) + 1) \bmod 2^M$:	État de la branche B1
$W(N_{B1}) = W(N) + w_1$:	poids de Hamming de la branche B1
$\#1(N_{B1}) = \#1(N) + 1$:	nombre de bits 1 sur la branche B1
$Prof(N_{B1}) = Prof(N) + 1$:	profondeur dans l'arbre

où w_0 et w_1 représentent les poids de Hamming des branches B0 et B1 respectivement.

Remarquons que tous les bons codeurs origine sont complémentaires, c'est-à-dire que tous les V_0 additionneurs modulo-2 sont connectés à la première cellule du registre à décalage de sorte que

$$w_0 + w_1 = Z \quad (4.3)$$

où Z dépend du patron de perforation, avec $Z = V_0$ pour le codeur origine seulement.

À titre d'exemple, les différentes étapes de l'exploration d'un arbre binaire sont illustrées aux figures 4.2 (a), 4.2 (b) et 4.2 (c). Supposons, pour faciliter l'explication, que tous les noeuds de profondeur 5 soient des noeuds de poids $L + 1$ et qu'il n'y ait pas de noeuds d'état zéro valide E_0 .

- a. Le prolongement de chaque noeud conduit dans l'ordre, à la visite et au stockage dans la pile des successeurs associés à un bit d'information 0, et ensuite au bit d'information 1. Ce dernier se retrouve donc au sommet de la pile et devient le prochain noeud prolongé. Par conséquent, le premier chemin exploré dans l'arbre correspond à la séquence formée d'une suite ininterrompue de bits d'information 1.
- b. Les chemins sont développés progressivement de la droite vers la gauche.
- c. Le dernier noeud prolongé est situé à l'extrême gauche de l'arbre. C'est alors le seul et dernier noeud de la pile.

CHAPITRE 5

RÉSULTATS

On présente dans ce chapitre les spectres des distances, et les bornes supérieures sur les probabilités d'erreur pour les codes convolutionnels perforés de taux de codage $R = 2/3, 3/4, 4/5,$ et $7/8$, de mémoires $M = 5, 6, 7$ et 8 . Tous les codes de taux de codage élevé ont été issus des meilleurs codeurs origine de taux $R = 1/2$, c'est-à-dire des meilleurs code de distance libre maximale [23]. Pour chaque code on fournit les générateurs du code origine en notation octale, la matrice de perforation, et le spectre des distances sur une étendue plus grande que $3 d_{\text{libre}}$ ce qui correspond à une extension des résultats connus à ce jour. Les bornes supérieures sur les probabilités d'erreur sont fournies sous forme de tableaux et de courbes de performance pour des canaux à bruit blanc gaussien non quantifiés et à quantification dure (canal binaire symétrique). Les tableaux fournissent les performances d'erreur ainsi que les valeurs des paramètres du canal à intervalles de 0.1 dB, produisant ainsi des valeurs précises des performances sur une plage substantielle, débutant toujours pour $R/R_0 = 1$, où R_0 est le taux de coupure [9], [12]. Par commodité, toutes les courbes et tableaux sont regroupés à l'annexe 1.

Les courbes de performances regroupent pour chaque taux de codage les quatre codes de mémoire $M = 5, 6, 7$ et 8 , et ce, pour les canaux non quantifiés aussi bien que pour les canaux binaires symétriques. Afin de faciliter la comparaison des différents codes, les courbes de performances des codes de mémoire fixée et de taux de codage $R = 2/3, 3/4, 4/5$ et $7/8$ sont aussi fournis. Ces ensembles de courbes permettent donc d'examiner aussi bien les effets de la mémoire (donc de la complexité du décodeur) que de ceux du taux de codage (donc de l'expansion de largeur de bande) dans le choix du meilleur code pour atteindre une performance donnée.

Tel que mentionné plus haut l'approche de perforation a été appliquée également à la génération de codes de faibles taux, $R = 1/V$. Utilisant comme code origine le code de distance libre maximale de taux $R = 1/6$ et de mémoire $M = 6$ [24], les meilleurs codes perforés de taux $R = 1/5, 1/4, 1/3, 1/2$ ont été déterminés. Ces nouveaux codes ont été obtenus par analyse exhaustive de tous les cas

possibles, c'est-à-dire par examen d'un nombre $\binom{6}{V}$, $v = 2,3,4,5$ de matrices de perforation.

Dans chacun des cas, le spectre des distances est calculé et les performances d'erreur évaluées.

Pas moins de $\sum_{v=2}^5 \binom{6}{v} = 56$ codes ont donc dû être analysés pour sélectionner les 4 codes

présentés ici. Ces codes sont tous à distance libre maximale. Cependant il est bon de remarquer que bien que plusieurs codes de même distance libre maximale aient été obtenus, les codes sélectionnés comme étant les meilleurs délivrent aussi la plus faible probabilité d'erreur. Par conséquent, les codes fournis sont à distance libre maximale et à probabilité d'erreur minimale.

Enfin pour conclure, on se doit de mentionner brièvement l'effort de calcul requis pour la recherche des bons codes. L'effort de calcul correspond au nombre de noeuds de l'arbre examinés par l'algorithme. On montre que le nombre de noeuds N_L qui doivent être visités pour déterminer le spectre de distances sur une distance de Hamming égale à L est exprimé par

$$N_L = \Delta^{L+1} \quad (5.1)$$

où Δ est le taux d'accroissement de l'effort de calcul. Pour les codes de taux $R = 1/2$ ce taux d'accroissement est $\Delta = (1 + \sqrt{2})$, alors que pour les codes de taux $R=7/8$ et de mémoire $M = 8$, ce taux est égal à environ 11.9. Par conséquent la recherche des meilleurs codes pour des valeurs de mémoires et de taux de codage relativement élevés peut conduire à des efforts de calcul considérables, s'échelonnant sur des semaines, même avec les plateformes les plus perfectionnées.

RÉFÉRENCES

- [1] Cain, J.B., Clark, G.C. and Geist, J.M., « Punctured Convolutional Codes of Rate $(n-1)/n$ and Simplified Maximum Likelihood Decoding », IEEE Trans. on Inf. Theory, Vol. IT-25, Jan. 1979.
- [2] Yasuda, Y., Hirata, Y., Nakamura, K. and Otani, S., « Development of Variable-Rate Viterbi Decoder and its Performance Characteristics », 6th International Conference on Digital Datellite Communication, Phoenix, Sept. 1983.
- [3] Yasuda, Y., Kashiki, K. and Hirata, Y., « High-Rate Punctured Convolutional Codes for Soft Decision Viterbi Decoding », IEEE Trans. on Comm., Vol. COM-32, March 1984, pp. 315-319.
- [4] Hagenauer, J., « Hybrid ARQ/FEC Protocols on Fading Channels using Rate-Compatible Punctured Convolutional Codes », Proc ICC'87, 1987.
- [5] Hagenauer, J., « Rate Compatible Punctured Convolutional Codes and their Applications », IEEE Trans. on Comm., Vol. COM-36, April 1989, pp. 389-400.
- [6] Haccoun, D., Bégin, G., « High-Rate Punctured Convolutional Codes for Viterbi and Sequential Decoding », IEEE Trans. on Comm., Vol. 37, Nov. 1989, pp. 113-1125.
- [7] Bégin, G., Haccoun, D., « High Rate Punctured Codes Structure Properties and Construction Techniques », IEEE Trans. on Comm., Vol. 37, No 12, Dec. 1989, pp. 1381-1385.
- [8] Bégin, G., Haccoun, D., « Decoding of Punctured Convolutional Codes by the Stack Algorithm », Book of Abstracts, 1986 IEEE Intern. Symposium on Information Theory, Arm Arbor, Michigan, Oct. 1986.
- [9] Bhargava, V.K., Haccoun, D., Matyas, R. and Nuspl, P., « Digital Communications by Satellite », New York: Wiley, 1981.
- [10] Wu, W.W., « Elements of Digital Satellite Communications », Vol. II, Channel Coding and Integrated Services Digital Satellite Networks, Rockville, MD: Computer Science, 1985.
- [11] Wu, W., Haccoun, D., Peile, R., Hirata, Y., « Coding for Satellite Communications », IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. SAC-5, May 1987, pp. 724-748.
- [12] Viterbi, A.J. and Omura, J., « Principles of Digital Communication and Coding », New York: McGraw-Hill, 1979.
- [13] Gilhousen, K., Jacobs, I.M., Padovani, R., Viterbi, A.J., Weaver L., Wentley III, Ch., « On the Capacity of Cellular CDMA System », IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol. 40, No.2, May 1991, pp. 303-311.

- [14] Documentation commerciale de Qualcomm.
- [15] Lin, S. and Costello, D.J., Jr., « Error Control Coding », Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1983.
- [16] Clark, G.C., Cain, B., « Error-Correction Coding for Digital Communications », Plenum Press, New York, 1981.
- [17] Viterbi, A.J., « Convolutional Codes and their Performance in Communication Systems », IEEE Trans. on Comm. Tech., Vol. COM-19, Oct. 1971.
- [18] Haccoun, D., « Variabilité des calculs et débordements de décodeurs séquentiels à pile », Traitement du signal, Vol. 3, No 3, 1986, pp. 127-143,
- [19] Haccoun, D., « Décodage séquentiel des codes convolutionnels de taux de codage élevés », Traitement du Signal, Paris, Vol. 4, No 6, Nov. 1987, pp. 471-478.
- [20] Montreuil, P., « Algorithmes de détermination de spectres des codes convolutionnels », Mémoire de maîtrise, Département de génie électrique, École Polytechnique de Montréal, 1987.
- [21] Chao, C. et McEliece, R.J., « On the Path Weight Enumerators of Convolutional Codes »
- [22] Cedervall, M., « Contributions to the Decoding and Structure of Convolutional codes », Ph.D. Dissertation, Department of Computer Engineering, University of Lund, Sweden, November 1983.
- [23] Odenwalder, J.P., « Optimal Decoding of Convolutional Codes », Ph.D. Dissertation, Dept. of Elect. Eng., U.C.L.A., Los Angeles, Jan. 1970.
- [24] Daut, D.G., Modestino, J.W. et Wismer, L.D., « New Short Constraint Length Convolutional Code Constructions for Selected Rational Rates », IEEE Transactions on Information Theory, Volume IT-28 no. 5, September 1982, pp. 794-800.

ANNEXE 1

**LISTES DES CODES PERFORÉS,
DE LEURS SPECTRES DE DISTANCE ET
DE LEURS PERFORMANCES D'ERREUR**

**CODES PERFORÉS DE MÉMOIRE $M = 5, 6, 7, 8$
ET DE TAUX DE CODAGE $R = 2/3, 3/4, 4/5, 7/8$
ISSUS DES MEILLEURS CODES DE MÉMOIRE
 $M = 5, 6, 7, 8$ ET DE TAUX $R = 1/2$**

Code origine : M=5, R=1/2
 Generateurs : 53 75
 Distance libre du code origine : $d_f = 8$

Code perfore : M=5, R=2/3
 Patron de perforation : 10
 11

SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

Distance de Hamming d.	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
6	19	96
7	0	0
8	220	1904
9	0	0
10	3089	35936
11	0	0
12	42725	637895
13	0	0
14	586592	10640725
15	0	0
16	8085210	172753249
17	0	0
18	111315783	2737297514
19	0	0
20	1532925641	42638079030
21	0	0
22	21109246985	655210903131
23	0	0
24	290686062046	9959880024269
25	0	0
26	4002915316291	150059810645130
27	0	0
28	55122425497388	2244139498920280
29	0	0
30	759067345509885	33350532512896751

MEMOIRE : 5
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/2
 GENERATEURS : 53 75

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 2/3
 PATRON DE PERFORATION : 10
 11

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
3.1	1.3391	0.994	1.3111e-02	4.9477e-02	1.388	---
3.2	1.4391	0.980	8.5710e-03	4.7554e-02	1.365	---
3.3	1.5391	0.967	5.6644e-03	4.5669e-02	1.342	---
3.4	1.6391	0.955	3.7873e-03	4.3825e-02	1.320	---
3.5	1.7391	0.942	2.5625e-03	4.2021e-02	1.299	---
3.6	1.8391	0.930	1.7541e-03	4.0257e-02	1.278	---
3.7	1.9391	0.919	1.2139e-03	3.8535e-02	1.258	---
3.8	2.0391	0.908	8.4851e-04	3.6854e-02	1.238	---
3.9	2.1391	0.897	5.9824e-04	3.5216e-02	1.218	---
4.0	2.2391	0.886	4.2486e-04	3.3619e-02	1.199	---
4.1	2.3391	0.876	3.0350e-04	3.2066e-02	1.181	---
4.2	2.4391	0.866	2.1779e-04	3.0555e-02	1.163	---
4.3	2.5391	0.857	1.5678e-04	2.9087e-02	1.146	---
4.4	2.6391	0.848	1.1309e-04	2.7662e-02	1.129	---
4.5	2.7391	0.839	8.1656e-05	2.6280e-02	1.112	---
4.6	2.8391	0.830	5.8961e-05	2.4942e-02	1.096	---
4.7	2.9391	0.822	4.2540e-05	2.3646e-02	1.080	---
4.8	3.0391	0.814	3.0645e-05	2.2394e-02	1.065	---
4.9	3.1391	0.806	2.2027e-05	2.1185e-02	1.050	---
5.0	3.2391	0.799	1.5789e-05	2.0018e-02	1.036	---
5.1	3.3391	0.792	1.1279e-05	1.8894e-02	1.022	---
5.2	3.4391	0.785	8.0265e-06	1.7811e-02	1.008	---
5.3	3.5391	0.778	5.6874e-06	1.6771e-02	0.995	2.2988e-02
5.4	3.6391	0.772	4.0109e-06	1.5772e-02	0.982	1.5443e-02
5.5	3.7391	0.766	2.8141e-06	1.4813e-02	0.969	1.0480e-02
5.6	3.8391	0.760	1.9636e-06	1.3895e-02	0.957	7.1891e-03
5.7	3.9391	0.754	1.3621e-06	1.3017e-02	0.945	4.9865e-03
5.8	4.0391	0.749	9.3898e-07	1.2177e-02	0.934	3.4966e-03
5.9	4.1391	0.744	6.4308e-07	1.1377e-02	0.923	2.4776e-03
6.0	4.2391	0.739	4.3740e-07	1.0613e-02	0.912	1.7724e-03
6.1	4.3391	0.735	2.9537e-07	9.8870e-03	0.901	1.2787e-03
6.2	4.4391	0.730	1.9797e-07	9.1969e-03	0.891	9.2940e-04
6.3	4.5391	0.726	1.3165e-07	8.5420e-03	0.882	6.7965e-04
6.4	4.6391	0.722	8.6845e-08	7.9215e-03	0.872	4.9946e-04
6.5	4.7391	0.718	5.6807e-08	7.3346e-03	0.863	3.6843e-04
6.6	4.8391	0.714	3.6836e-08	6.7802e-03	0.854	2.7251e-04
6.7	4.9391	0.711	2.3672e-08	6.2573e-03	0.845	2.0191e-04
6.8	5.0391	0.708	1.5071e-08	5.7651e-03	0.837	1.4973e-04
6.9	5.1391	0.705	9.5041e-09	5.3024e-03	0.829	1.1104e-04
7.0	5.2391	0.702	5.9343e-09	4.8682e-03	0.821	8.2296e-05
7.1	5.3391	0.699	3.6678e-09	4.4616e-03	0.814	6.0916e-05
7.2	5.4391	0.697	2.2433e-09	4.0814e-03	0.806	4.5010e-05
7.3	5.5391	0.694	1.3574e-09	3.7265e-03	0.799	3.3179e-05
7.4	5.6391	0.692	8.1227e-10	3.3959e-03	0.793	2.4390e-05
7.5	5.7391	0.690	4.8057e-10	3.0886e-03	0.786	1.7872e-05
7.6	5.8391	0.688	2.8102e-10	2.8034e-03	0.780	1.3049e-05
7.7	5.9391	0.686	1.6237e-10	2.5393e-03	0.774	9.4896e-06
7.8	6.0391	0.684	9.2670e-11	2.2952e-03	0.768	6.8714e-06
7.9	6.1391	0.683	5.2226e-11	2.0701e-03	0.762	4.9526e-06
8.0	6.2391	0.681	2.9055e-11	1.8630e-03	0.757	3.5520e-06

Code origine : M=6, R=1/2
 Generateurs : 133 171
 Distance libre du code origine : df= 10

Code perfore : M=6, R=2/3
 Patron de perforation : 11
 10

SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
6	1	3
7	16	70
8	48	285
9	158	1276
10	642	6160
11	2435	27128
12	9174	117019
13	34701	498835
14	131533	2103480
15	499312	8781268
16	1891754	36311723
17	7165914	149125088
18	27160547	608911000
19	102939934	2473295227
20	390103650	10000689748
21	1478366491	40278753162
22	5602644568	161662093838
23	21232670913	646825567170
24	80466253530	2580782268175
25	304945631507	10271194956197
26	1155664570778	40784821227101
27	4379669016523	161611492273476
28	16597802342961	639174061815635
29	62901336074499	2523521898746719
30	238379659529492	9947083527963114

MEMOIRE : 6
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/2
 GENERATEURS : 133 171

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 2/3
 PATRON DE PERFORATION : 11
 10

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
3.1	1.3391	0.994	4.6085e-03	4.9477e-02	1.388	---
3.2	1.4391	0.980	2.9309e-03	4.7554e-02	1.365	---
3.3	1.5391	0.967	1.8756e-03	4.5669e-02	1.342	---
3.4	1.6391	0.955	1.2090e-03	4.3825e-02	1.320	---
3.5	1.7391	0.942	7.8545e-04	4.2021e-02	1.299	---
3.6	1.8391	0.930	5.1449e-04	4.0257e-02	1.278	---
3.7	1.9391	0.919	3.3978e-04	3.8535e-02	1.258	---
3.8	2.0391	0.908	2.2617e-04	3.6854e-02	1.238	---
3.9	2.1391	0.897	1.5164e-04	3.5216e-02	1.218	---
4.0	2.2391	0.886	1.0233e-04	3.3619e-02	1.199	---
4.1	2.3391	0.876	6.9422e-05	3.2066e-02	1.181	---
4.2	2.4391	0.866	4.7304e-05	3.0555e-02	1.163	---
4.3	2.5391	0.857	3.2338e-05	2.9087e-02	1.146	---
4.4	2.6391	0.848	2.2156e-05	2.7662e-02	1.129	---
4.5	2.7391	0.839	1.5198e-05	2.6280e-02	1.112	---
4.6	2.8391	0.830	1.0429e-05	2.4942e-02	1.096	---
4.7	2.9391	0.822	7.1521e-06	2.3646e-02	1.080	---
4.8	3.0391	0.814	4.8987e-06	2.2394e-02	1.065	---
4.9	3.1391	0.806	3.3487e-06	2.1185e-02	1.050	---
5.0	3.2391	0.799	2.2833e-06	2.0018e-02	1.036	---
5.1	3.3391	0.792	1.5519e-06	1.8894e-02	1.022	---
5.2	3.4391	0.785	1.0510e-06	1.7811e-02	1.008	---
5.3	3.5391	0.778	7.0891e-07	1.6771e-02	0.995	5.1369e-03
5.4	3.6391	0.772	4.7601e-07	1.5772e-02	0.982	3.3197e-03
5.5	3.7391	0.766	3.1807e-07	1.4813e-02	0.969	2.1577e-03
5.6	3.8391	0.760	2.1143e-07	1.3895e-02	0.957	1.4118e-03
5.7	3.9391	0.754	1.3976e-07	1.3017e-02	0.945	9.3045e-04
5.8	4.0391	0.749	9.1847e-08	1.2177e-02	0.934	6.1792e-04
5.9	4.1391	0.744	5.9989e-08	1.1377e-02	0.923	4.1356e-04
6.0	4.2391	0.739	3.8930e-08	1.0613e-02	0.912	2.7887e-04
6.1	4.3391	0.735	2.5095e-08	9.8870e-03	0.901	1.8939e-04
6.2	4.4391	0.730	1.6065e-08	9.1969e-03	0.891	1.2946e-04
6.3	4.5391	0.726	1.0210e-08	8.5420e-03	0.882	8.8996e-05
6.4	4.6391	0.722	6.4412e-09	7.9215e-03	0.872	6.1479e-05
6.5	4.7391	0.718	4.0324e-09	7.3346e-03	0.863	4.2639e-05
6.6	4.8391	0.714	2.5045e-09	6.7802e-03	0.854	2.9666e-05
6.7	4.9391	0.711	1.5429e-09	6.2573e-03	0.845	2.0688e-05
6.8	5.0391	0.708	9.4260e-10	5.7651e-03	0.837	1.4450e-05
6.9	5.1391	0.705	5.7092e-10	5.3024e-03	0.829	1.0102e-05
7.0	5.2391	0.702	3.4276e-10	4.8682e-03	0.821	7.0644e-06
7.1	5.3391	0.699	2.0392e-10	4.4616e-03	0.814	4.9391e-06
7.2	5.4391	0.697	1.2020e-10	4.0814e-03	0.806	3.4507e-06
7.3	5.5391	0.694	7.0173e-11	3.7265e-03	0.799	2.4082e-06
7.4	5.6391	0.692	4.0568e-11	3.3959e-03	0.793	1.6781e-06
7.5	5.7391	0.690	2.3218e-11	3.0886e-03	0.786	1.1672e-06
7.6	5.8391	0.688	1.3152e-11	2.8034e-03	0.780	8.1021e-07
7.7	5.9391	0.686	7.3712e-12	2.5393e-03	0.774	5.6106e-07
7.8	6.0391	0.684	4.0865e-12	2.2952e-03	0.768	3.8751e-07
7.9	6.1391	0.683	2.2403e-12	2.0701e-03	0.762	2.6688e-07
8.0	6.2391	0.681	1.2141e-12	1.8630e-03	0.757	1.8324e-07

Code origine : M=7, R=1/2
 Generateurs : 247 371
 Distance libre du code origine : df= 10

Code perfore : M=7, R=2/3
 Patron de perforation : 10
 11

SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
7	9	47
8	35	237
9	104	835
10	372	3637
11	1552	17770
12	5905	76162
13	22148	322120
14	85175	1374174
15	323708	5728731
16	1231571	23756120
17	4705600	98193148
18	17934107	402554704
19	68321782	1641892368
20	260486781	6672107397
21	992986545	27004053856
22	3784841031	108916415602
23	14427619332	438011462186
24	54996572726	1756647650967
25	209635517070	7027620418329
26	799100694938	28052494883701
27	3046063993499	111751038517825
28	11611115263449	444345882090840
29	44259812208720	1763798105297495
30	168711865121643	6990236495913009

MEMOIRE : 7
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/2
 GENERATEURS : 247 371

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 2/3
 PATRON DE PERFORATION : 10
 11

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
3.1	1.3391	0.994	3.0222e-03	4.9477e-02	1.388	---
3.2	1.4391	0.980	1.9202e-03	4.7554e-02	1.365	---
3.3	1.5391	0.967	1.2275e-03	4.5669e-02	1.342	---
3.4	1.6391	0.955	7.9022e-04	4.3825e-02	1.320	---
3.5	1.7391	0.942	5.1261e-04	4.2021e-02	1.299	---
3.6	1.8391	0.930	3.3516e-04	4.0257e-02	1.278	---
3.7	1.9391	0.919	2.2085e-04	3.8535e-02	1.258	---
3.8	2.0391	0.908	1.4660e-04	3.6854e-02	1.238	---
3.9	2.1391	0.897	9.7967e-05	3.5216e-02	1.218	---
4.0	2.2391	0.886	6.5841e-05	3.3619e-02	1.199	---
4.1	2.3391	0.876	4.4456e-05	3.2066e-02	1.181	---
4.2	2.4391	0.866	3.0122e-05	3.0555e-02	1.163	---
4.3	2.5391	0.857	2.0458e-05	2.9087e-02	1.146	---
4.4	2.6391	0.848	1.3913e-05	2.7662e-02	1.129	---
4.5	2.7391	0.839	9.4634e-06	2.6280e-02	1.112	---
4.6	2.8391	0.830	6.4324e-06	2.4942e-02	1.096	---
4.7	2.9391	0.822	4.3651e-06	2.3646e-02	1.080	---
4.8	3.0391	0.814	2.9552e-06	2.2394e-02	1.065	---
4.9	3.1391	0.806	1.9945e-06	2.1185e-02	1.050	---
5.0	3.2391	0.799	1.3410e-06	2.0018e-02	1.036	---
5.1	3.3391	0.792	8.9779e-07	1.8894e-02	1.022	---
5.2	3.4391	0.785	5.9813e-07	1.7811e-02	1.008	---
5.3	3.5391	0.778	3.9637e-07	1.6771e-02	0.995	3.3658e-03
5.4	3.6391	0.772	2.6114e-07	1.5772e-02	0.982	2.1718e-03
5.5	3.7391	0.766	1.7099e-07	1.4813e-02	0.969	1.4090e-03
5.6	3.8391	0.760	1.1122e-07	1.3895e-02	0.957	9.1982e-04
5.7	3.9391	0.754	7.1836e-08	1.3017e-02	0.945	6.0455e-04
5.8	4.0391	0.749	4.6060e-08	1.2177e-02	0.934	4.0013e-04
5.9	4.1391	0.744	2.9306e-08	1.1377e-02	0.923	2.6667e-04
6.0	4.2391	0.739	1.8497e-08	1.0613e-02	0.912	1.7889e-04
6.1	4.3391	0.735	1.1578e-08	9.8870e-03	0.901	1.2073e-04
6.2	4.4391	0.730	7.1842e-09	9.1969e-03	0.891	8.1897e-05
6.3	4.5391	0.726	4.4180e-09	8.5420e-03	0.882	5.5791e-05
6.4	4.6391	0.722	2.6917e-09	7.9215e-03	0.872	3.8129e-05
6.5	4.7391	0.718	1.6242e-09	7.3346e-03	0.863	2.6116e-05
6.6	4.8391	0.714	9.7039e-10	6.7802e-03	0.854	1.7908e-05
6.7	4.9391	0.711	5.7385e-10	6.2573e-03	0.845	1.2282e-05
6.8	5.0391	0.708	3.3579e-10	5.7651e-03	0.837	8.4179e-06
6.9	5.1391	0.705	1.9436e-10	5.3024e-03	0.829	5.7603e-06
7.0	5.2391	0.702	1.1124e-10	4.8682e-03	0.821	3.9326e-06
7.1	5.3391	0.699	6.2941e-11	4.4616e-03	0.814	2.6767e-06
7.2	5.4391	0.697	3.5192e-11	4.0814e-03	0.806	1.8152e-06
7.3	5.5391	0.694	1.9439e-11	3.7265e-03	0.799	1.2257e-06
7.4	5.6391	0.692	1.0604e-11	3.3959e-03	0.793	8.2375e-07
7.5	5.7391	0.690	5.7100e-12	3.0886e-03	0.786	5.5068e-07
7.6	5.8391	0.688	3.0345e-12	2.8034e-03	0.780	3.6603e-07
7.7	5.9391	0.686	1.5909e-12	2.5393e-03	0.774	2.4180e-07
7.8	6.0391	0.684	8.2247e-13	2.2952e-03	0.768	1.5869e-07
7.9	6.1391	0.683	4.1918e-13	2.0701e-03	0.762	1.0342e-07
8.0	6.2391	0.681	2.1052e-13	1.8630e-03	0.757	6.6912e-08

Code origine : M=8, R=1/2
 Generateurs : 561 753
 Distance libre du code origine : df= 12

Code perfore : M=8, R=2/3
 Patron de perforation : 11
 10

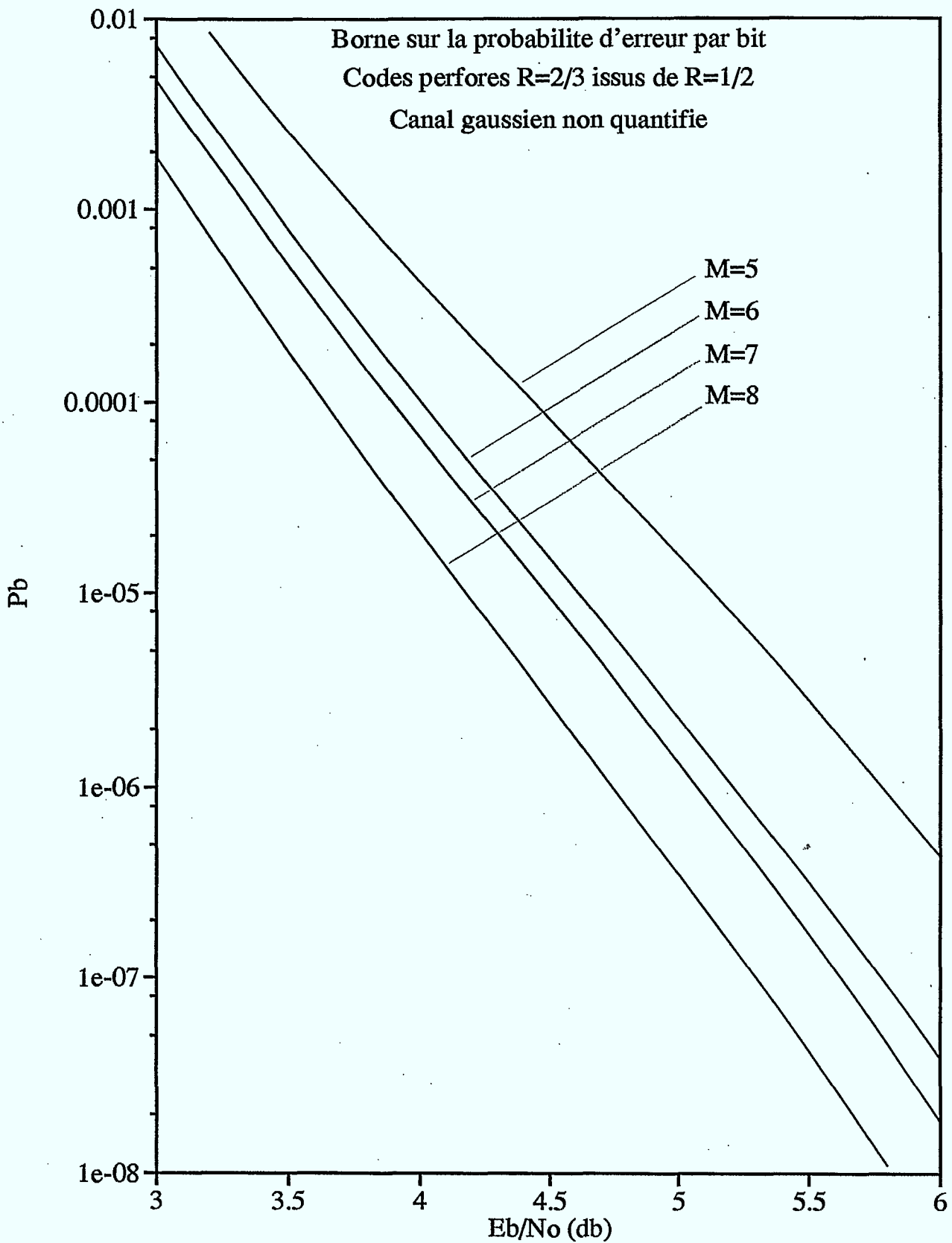
SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

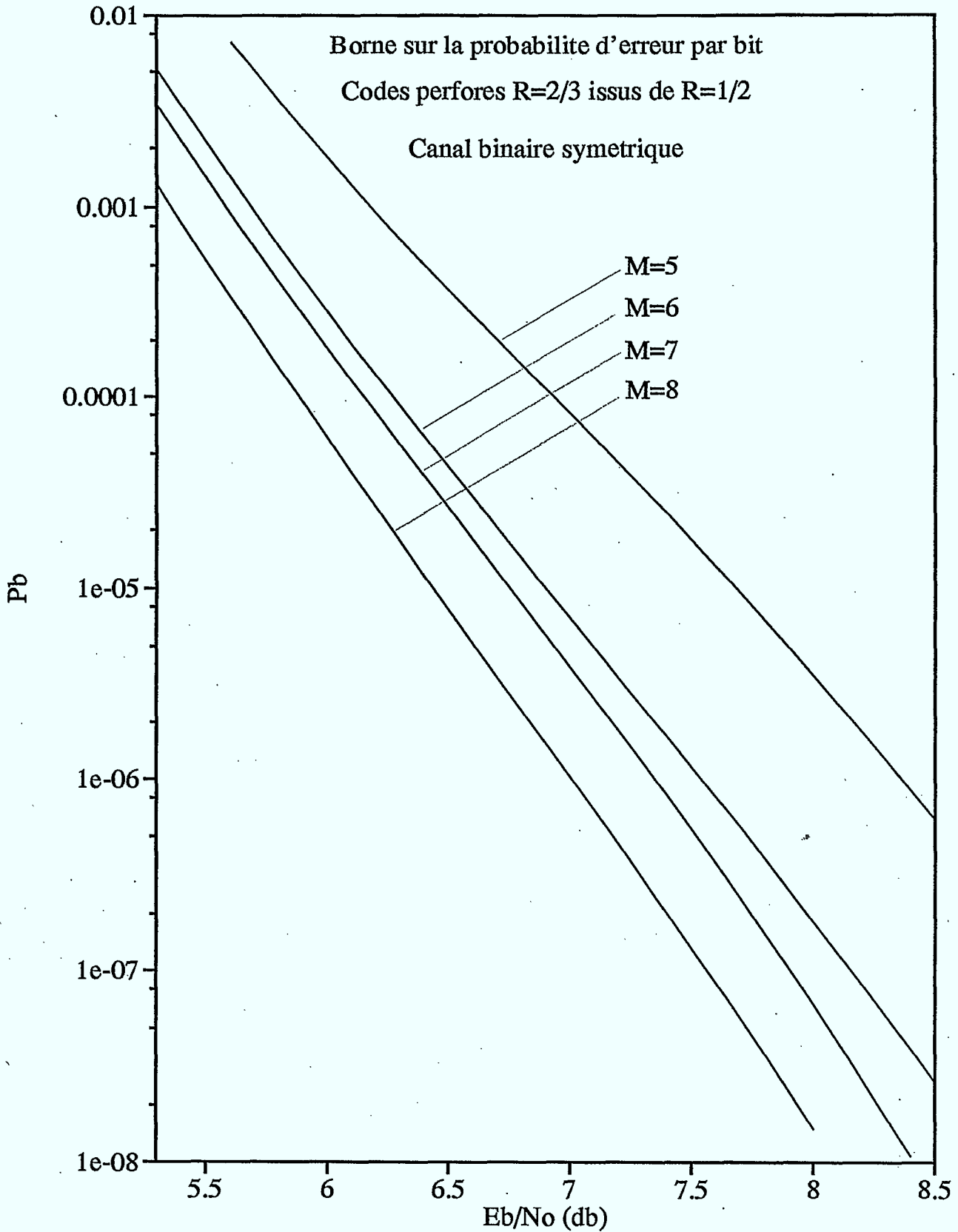
Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
7	3	11
8	9	46
9	50	324
10	190	1594
11	641	6425
12	2507	29069
13	9745	127923
14	37120	544610
15	142220	2313233
16	544948	9720743
17	2086538	40482752
18	7988101	167524482
19	30588852	689575361
20	117140948	2824628085
21	448544740	11519997112
22	1717573168	46809454402
23	6577021284	189571163392
24	25185038437	765457567000
25	96440074628	3082553951276
26	369291807660	12383637917713
27	1414105483187	49640139097387
28	5414954155781	198586051052039
29	20735167519372	792989654145209
30	79399968955351	3161212929279157

MEMOIRE : 8
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/2
 GENERATEURS : 561 753

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 2/3
 PATRON DE PERFORATION : 11
 10

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
3.1	1.3391	0.994	1.1602e-03	4.9477e-02	1.388	---
3.2	1.4391	0.980	7.2625e-04	4.7554e-02	1.365	---
3.3	1.5391	0.967	4.5652e-04	4.5669e-02	1.342	---
3.4	1.6391	0.955	2.8846e-04	4.3825e-02	1.320	---
3.5	1.7391	0.942	1.8336e-04	4.2021e-02	1.299	---
3.6	1.8391	0.930	1.1731e-04	4.0257e-02	1.278	---
3.7	1.9391	0.919	7.5557e-05	3.8535e-02	1.258	---
3.8	2.0391	0.908	4.8986e-05	3.6854e-02	1.238	---
3.9	2.1391	0.897	3.1958e-05	3.5216e-02	1.218	---
4.0	2.2391	0.886	2.0968e-05	3.3619e-02	1.199	---
4.1	2.3391	0.876	1.3825e-05	3.2066e-02	1.181	---
4.2	2.4391	0.866	9.1516e-06	3.0555e-02	1.163	---
4.3	2.5391	0.857	6.0769e-06	2.9087e-02	1.146	---
4.4	2.6391	0.848	4.0439e-06	2.7662e-02	1.129	---
4.5	2.7391	0.839	2.6943e-06	2.6280e-02	1.112	---
4.6	2.8391	0.830	1.7957e-06	2.4942e-02	1.096	---
4.7	2.9391	0.822	1.1963e-06	2.3646e-02	1.080	---
4.8	3.0391	0.814	7.9590e-07	2.2394e-02	1.065	---
4.9	3.1391	0.806	5.2849e-07	2.1185e-02	1.050	---
5.0	3.2391	0.799	3.5002e-07	2.0018e-02	1.036	---
5.1	3.3391	0.792	2.3107e-07	1.8894e-02	1.022	---
5.2	3.4391	0.785	1.5197e-07	1.7811e-02	1.008	---
5.3	3.5391	0.778	9.9524e-08	1.6771e-02	0.995	1.2960e-03
5.4	3.6391	0.772	6.4866e-08	1.5772e-02	0.982	8.2420e-04
5.5	3.7391	0.766	4.2057e-08	1.4813e-02	0.969	5.2604e-04
5.6	3.8391	0.760	2.7115e-08	1.3895e-02	0.957	3.3722e-04
5.7	3.9391	0.754	1.7375e-08	1.3017e-02	0.945	2.1726e-04
5.8	4.0391	0.749	1.1062e-08	1.2177e-02	0.934	1.4073e-04
5.9	4.1391	0.744	6.9941e-09	1.1377e-02	0.923	9.1672e-05
6.0	4.2391	0.739	4.3902e-09	1.0613e-02	0.912	6.0045e-05
6.1	4.3391	0.735	2.7347e-09	9.8870e-03	0.901	3.9535e-05
6.2	4.4391	0.730	1.6898e-09	9.1969e-03	0.891	2.6154e-05
6.3	4.5391	0.726	1.0355e-09	8.5420e-03	0.882	1.7373e-05
6.4	4.6391	0.722	6.2896e-10	7.9215e-03	0.872	1.1578e-05
6.5	4.7391	0.718	3.7858e-10	7.3346e-03	0.863	7.7358e-06
6.6	4.8391	0.714	2.2572e-10	6.7802e-03	0.854	5.1771e-06
6.7	4.9391	0.711	1.3326e-10	6.2573e-03	0.845	3.4675e-06
6.8	5.0391	0.708	7.7875e-11	5.7651e-03	0.837	2.3226e-06
6.9	5.1391	0.705	4.5031e-11	5.3024e-03	0.829	1.5545e-06
7.0	5.2391	0.702	2.5756e-11	4.8682e-03	0.821	1.0389e-06
7.1	5.3391	0.699	1.4566e-11	4.4616e-03	0.814	6.9288e-07
7.2	5.4391	0.697	8.1427e-12	4.0814e-03	0.806	4.6083e-07
7.3	5.5391	0.694	4.4975e-12	3.7265e-03	0.799	3.0549e-07
7.4	5.6391	0.692	2.4535e-12	3.3959e-03	0.793	2.0174e-07
7.5	5.7391	0.690	1.3215e-12	3.0886e-03	0.786	1.3265e-07
7.6	5.8391	0.688	7.0253e-13	2.8034e-03	0.780	8.6807e-08
7.7	5.9391	0.686	3.6846e-13	2.5393e-03	0.774	5.6511e-08
7.8	6.0391	0.684	1.9058e-13	2.2952e-03	0.768	3.6581e-08
7.9	6.1391	0.683	9.7182e-14	2.0701e-03	0.762	2.3538e-08
8.0	6.2391	0.681	4.8834e-14	1.8630e-03	0.757	1.5048e-08





Code origine : M=5, R=1/2
 Generateurs : 53 75
 Distance libre du code origine : $df= 8$

Code perfore : M=5, R=3/4
 Patron de perforation : 100
 111

SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
4	1	3
5	15	85
6	65	490
7	321	3198
8	1661	20557
9	8388	123312
10	42560	724657
11	215586	4177616
12	1091757	23720184
13	5533847	133193880
14	28041728	740652474
15	142076134	4085699486
16	719917788	22390491761
17	3647942648	122007821877
18	18484264433	661549369126
19	93660746091	3571669616201
20	474586470960	19210484535442

MEMOIRE : 5
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/2
 GENERATEURS : 53 75

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 3/4
 PATRON DE PERFORATION : 100
 111

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
3.5	2.2506	0.996	1.2806e-02	3.3438e-02	1.347	---
3.6	2.3506	0.984	7.7987e-03	3.1889e-02	1.326	---
3.7	2.4506	0.973	4.8481e-03	3.0383e-02	1.306	---
3.8	2.5506	0.963	3.0792e-03	2.8920e-02	1.286	---
3.9	2.6506	0.952	1.9975e-03	2.7500e-02	1.267	---
4.0	2.7506	0.942	1.3219e-03	2.6124e-02	1.249	---
4.1	2.8506	0.933	8.9077e-04	2.4790e-02	1.231	---
4.2	2.9506	0.923	6.0974e-04	2.3500e-02	1.213	---
4.3	3.0506	0.915	4.2294e-04	2.2252e-02	1.196	---
4.4	3.1506	0.906	2.9656e-04	2.1048e-02	1.179	---
4.5	3.2506	0.898	2.0976e-04	1.9886e-02	1.163	---
4.6	3.3506	0.890	1.4937e-04	1.8767e-02	1.148	---
4.7	3.4506	0.882	1.0690e-04	1.7689e-02	1.132	---
4.8	3.5506	0.875	7.6790e-05	1.6654e-02	1.117	---
4.9	3.6506	0.868	5.5296e-05	1.5659e-02	1.103	---
5.0	3.7506	0.861	3.9875e-05	1.4705e-02	1.089	---
5.1	3.8506	0.854	2.8771e-05	1.3792e-02	1.075	---
5.2	3.9506	0.848	2.0756e-05	1.2918e-02	1.062	---
5.3	4.0506	0.842	1.4962e-05	1.2083e-02	1.049	---
5.4	4.1506	0.836	1.0770e-05	1.1287e-02	1.037	---
5.5	4.2506	0.831	7.7389e-06	1.0528e-02	1.025	---
5.6	4.3506	0.826	5.5480e-06	9.8057e-03	1.013	---
5.7	4.4506	0.821	3.9668e-06	9.1196e-03	1.001	---
5.8	4.5506	0.816	2.8277e-06	8.4688e-03	0.990	1.1295e-02
5.9	4.6506	0.812	2.0090e-06	7.8522e-03	0.980	7.0752e-03
6.0	4.7506	0.807	1.4222e-06	7.2690e-03	0.969	4.5185e-03
6.1	4.8506	0.803	1.0029e-06	6.7183e-03	0.959	2.9432e-03
6.2	4.9506	0.800	7.0426e-07	6.1990e-03	0.950	1.9544e-03
6.3	5.0506	0.796	4.9242e-07	5.7102e-03	0.940	1.3214e-03
6.4	5.1506	0.792	3.4272e-07	5.2509e-03	0.931	9.0805e-04
6.5	5.2506	0.789	2.3739e-07	4.8200e-03	0.923	6.3303e-04
6.6	5.3506	0.786	1.6361e-07	4.4164e-03	0.914	4.4676e-04
6.7	5.4506	0.783	1.1217e-07	4.0392e-03	0.906	3.1858e-04
6.8	5.5506	0.781	7.6493e-08	3.6872e-03	0.898	2.2914e-04
6.9	5.6506	0.778	5.1870e-08	3.3593e-03	0.891	1.6598e-04
7.0	5.7506	0.776	3.4970e-08	3.0546e-03	0.883	1.2092e-04
7.1	5.8506	0.774	2.3435e-08	2.7719e-03	0.876	8.8504e-05
7.2	5.9506	0.772	1.5607e-08	2.5102e-03	0.870	6.5021e-05
7.3	6.0506	0.770	1.0328e-08	2.2683e-03	0.863	4.7910e-05
7.4	6.1506	0.768	6.7887e-09	2.0454e-03	0.857	3.5384e-05
7.5	6.2506	0.766	4.4319e-09	1.8402e-03	0.851	2.6179e-05
7.6	6.3506	0.765	2.8728e-09	1.6519e-03	0.845	1.9394e-05
7.7	6.4506	0.763	1.8486e-09	1.4794e-03	0.840	1.4381e-05
7.8	6.5506	0.762	1.1805e-09	1.3218e-03	0.834	1.0669e-05
7.9	6.6506	0.761	7.4797e-10	1.1782e-03	0.829	7.9163e-06
8.0	6.7506	0.760	4.7008e-10	1.0475e-03	0.825	5.8733e-06
8.1	6.8506	0.759	2.9296e-10	9.2899e-04	0.820	4.3556e-06
8.2	6.9506	0.758	1.8099e-10	8.2174e-04	0.816	3.2278e-06
8.3	7.0506	0.757	1.1082e-10	7.2495e-04	0.811	2.3895e-06
8.4	7.1506	0.756	6.7221e-11	6.3782e-04	0.807	1.7666e-06
8.5	7.2506	0.755	4.0386e-11	5.5960e-04	0.804	1.3040e-06
8.6	7.3506	0.755	2.4023e-11	4.8959e-04	0.800	9.6059e-07
8.7	7.4506	0.754	1.4143e-11	4.2709e-04	0.797	7.0603e-07
8.8	7.5506	0.754	8.2389e-12	3.7146e-04	0.793	5.1758e-07

Code origine : M=6, R=1/2
 Generateurs : 133 171
 Distance libre du code origine : df= 10

Code perfore : M=6, R=3/4
 Patron de perforation : 110
 101

SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
5	8	42
6	31	201
7	160	1492
8	892	10469
9	4512	62935
10	23297	379546
11	120976	2252394
12	624304	13064540
13	3229885	75080308
14	16721329	427474864
15	86489931	2411392912
16	447390157	13509947572
17	2314635531	75259679127
18	11974593525	417097520274
19	61948084179	2301303672266
20	320479019607	12648028512662

MEMOIRE : 6
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/2
 GENERATEURS : 133 171

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 3/4
 PATRON DE PERFORATION : 110
 101

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
3.5	2.2506	0.996	7.1169e-03	3.3438e-02	1.347	---
3.6	2.3506	0.984	4.2365e-03	3.1889e-02	1.326	---
3.7	2.4506	0.973	2.5704e-03	3.0383e-02	1.306	---
3.8	2.5506	0.963	1.5919e-03	2.8920e-02	1.286	---
3.9	2.6506	0.952	1.0067e-03	2.7500e-02	1.267	---
4.0	2.7506	0.942	6.4963e-04	2.6124e-02	1.249	---
4.1	2.8506	0.933	4.2712e-04	2.4790e-02	1.231	---
4.2	2.9506	0.923	2.8552e-04	2.3500e-02	1.213	---
4.3	3.0506	0.915	1.9359e-04	2.2252e-02	1.196	---
4.4	3.1506	0.906	1.3280e-04	2.1048e-02	1.179	---
4.5	3.2506	0.898	9.1956e-05	1.9886e-02	1.163	---
4.6	3.3506	0.890	6.4136e-05	1.8767e-02	1.148	---
4.7	3.4506	0.882	4.4973e-05	1.7689e-02	1.132	---
4.8	3.5506	0.875	3.1653e-05	1.6654e-02	1.117	---
4.9	3.6506	0.868	2.2330e-05	1.5659e-02	1.103	---
5.0	3.7506	0.861	1.5772e-05	1.4705e-02	1.089	---
5.1	3.8506	0.854	1.1140e-05	1.3792e-02	1.075	---
5.2	3.9506	0.848	7.8626e-06	1.2918e-02	1.062	---
5.3	4.0506	0.842	5.5405e-06	1.2083e-02	1.049	---
5.4	4.1506	0.836	3.8953e-06	1.1287e-02	1.037	---
5.5	4.2506	0.831	2.7306e-06	1.0528e-02	1.025	---
5.6	4.3506	0.826	1.9075e-06	9.8057e-03	1.013	---
5.7	4.4506	0.821	1.3272e-06	9.1196e-03	1.001	---
5.8	4.5506	0.816	9.1929e-07	8.4688e-03	0.990	6.1867e-03
5.9	4.6506	0.812	6.3362e-07	7.8522e-03	0.980	3.7730e-03
6.0	4.7506	0.807	4.3439e-07	7.2690e-03	0.969	2.3402e-03
6.1	4.8506	0.803	2.9610e-07	6.7183e-03	0.959	1.4772e-03
6.2	4.9506	0.800	2.0060e-07	6.1990e-03	0.950	9.4892e-04
6.3	5.0506	0.796	1.3503e-07	5.7102e-03	0.940	6.1974e-04
6.4	5.1506	0.792	9.0271e-08	5.2509e-03	0.931	4.1090e-04
6.5	5.2506	0.789	5.9918e-08	4.8200e-03	0.923	2.7604e-04
6.6	5.3506	0.786	3.9475e-08	4.4164e-03	0.914	1.8752e-04
6.7	5.4506	0.783	2.5804e-08	4.0392e-03	0.906	1.2854e-04
6.8	5.5506	0.781	1.6732e-08	3.6872e-03	0.898	8.8738e-05
6.9	5.6506	0.778	1.0758e-08	3.3593e-03	0.891	6.1586e-05
7.0	5.7506	0.776	6.8567e-09	3.0546e-03	0.883	4.2902e-05
7.1	5.8506	0.774	4.3309e-09	2.7719e-03	0.876	2.9956e-05
7.2	5.9506	0.772	2.7102e-09	2.5102e-03	0.870	2.0941e-05
7.3	6.0506	0.770	1.6797e-09	2.2683e-03	0.863	1.4641e-05
7.4	6.1506	0.768	1.0307e-09	2.0454e-03	0.857	1.0228e-05
7.5	6.2506	0.766	6.2602e-10	1.8402e-03	0.851	7.1337e-06
7.6	6.3506	0.765	3.7624e-10	1.6519e-03	0.845	4.9641e-06
7.7	6.4506	0.763	2.2368e-10	1.4794e-03	0.840	3.4442e-06
7.8	6.5506	0.762	1.3151e-10	1.3218e-03	0.834	2.3813e-06
7.9	6.6506	0.761	7.6431e-11	1.1782e-03	0.829	1.6398e-06
8.0	6.7506	0.760	4.3901e-11	1.0475e-03	0.825	1.1241e-06
8.1	6.8506	0.759	2.4912e-11	9.2899e-04	0.820	7.6673e-07
8.2	6.9506	0.758	1.3962e-11	8.2174e-04	0.816	5.2016e-07
8.3	7.0506	0.757	7.7256e-12	7.2495e-04	0.811	3.5083e-07
8.4	7.1506	0.756	4.2192e-12	6.3782e-04	0.807	2.3516e-07
8.5	7.2506	0.755	2.2735e-12	5.5960e-04	0.804	1.5659e-07
8.6	7.3506	0.755	1.2082e-12	4.8959e-04	0.800	1.0355e-07
8.7	7.4506	0.754	6.3311e-13	4.2709e-04	0.797	6.7979e-08
8.8	7.5506	0.754	3.2697e-13	3.7146e-04	0.793	4.4287e-08

Code origine : M=7, R=1/2
 Generateurs : 247 371
 Distance libre du code origine : df= 10

Code perfore : M=7, R=3/4
 Patron de perforation : 110
 101

SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
6	36	239
7	0	0
8	990	11165
9	0	0
10	26668	422030
11	0	0
12	726702	14810639
13	0	0
14	19768344	492916027
15	0	0
16	538016418	15865054923
17	0	0
18	14640316062	498387219397
19	0	0
20	398400975985	15376640938890

MEMOIRE : 7
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/2
 GENERATEURS : 247 371

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 3/4
 PATRON DE PERFORATION : 110
 101

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
3.5	2.2506	0.996	4.1680e-03	3.3438e-02	1.347	---
3.6	2.3506	0.984	2.4224e-03	3.1889e-02	1.326	---
3.7	2.4506	0.973	1.4334e-03	3.0383e-02	1.306	---
3.8	2.5506	0.963	8.6486e-04	2.8920e-02	1.286	---
3.9	2.6506	0.952	5.3227e-04	2.7500e-02	1.267	---
4.0	2.7506	0.942	3.3392e-04	2.6124e-02	1.249	---
4.1	2.8506	0.933	2.1321e-04	2.4790e-02	1.231	---
4.2	2.9506	0.923	1.3826e-04	2.3500e-02	1.213	---
4.3	3.0506	0.915	9.0825e-05	2.2252e-02	1.196	---
4.4	3.1506	0.906	6.0293e-05	2.1048e-02	1.179	---
4.5	3.2506	0.898	4.0349e-05	1.9886e-02	1.163	---
4.6	3.3506	0.890	2.7162e-05	1.8767e-02	1.148	---
4.7	3.4506	0.882	1.8357e-05	1.7689e-02	1.132	---
4.8	3.5506	0.875	1.2435e-05	1.6654e-02	1.117	---
4.9	3.6506	0.868	8.4312e-06	1.5659e-02	1.103	---
5.0	3.7506	0.861	5.7145e-06	1.4705e-02	1.089	---
5.1	3.8506	0.854	3.8677e-06	1.3792e-02	1.075	---
5.2	3.9506	0.848	2.6117e-06	1.2918e-02	1.062	---
5.3	4.0506	0.842	1.7580e-06	1.2083e-02	1.049	---
5.4	4.1506	0.836	1.1788e-06	1.1287e-02	1.037	---
5.5	4.2506	0.831	7.8685e-07	1.0528e-02	1.025	---
5.6	4.3506	0.826	5.2253e-07	9.8057e-03	1.013	---
5.7	4.4506	0.821	3.4504e-07	9.1196e-03	1.001	---
5.8	4.5506	0.816	2.2642e-07	8.4688e-03	0.990	6.0819e-03
5.9	4.6506	0.812	1.4760e-07	7.8522e-03	0.980	3.6942e-03
6.0	4.7506	0.807	9.5526e-08	7.2690e-03	0.969	2.2826e-03
6.1	4.8506	0.803	6.1358e-08	6.7183e-03	0.959	1.4360e-03
6.2	4.9506	0.800	3.9097e-08	6.1990e-03	0.950	9.1980e-04
6.3	5.0506	0.796	2.4703e-08	5.7102e-03	0.940	5.9936e-04
6.4	5.1506	0.792	1.5472e-08	5.2509e-03	0.931	3.9673e-04
6.5	5.2506	0.789	9.6015e-09	4.8200e-03	0.923	2.6624e-04
6.6	5.3506	0.786	5.9017e-09	4.4164e-03	0.914	1.8077e-04
6.7	5.4506	0.783	3.5916e-09	4.0392e-03	0.906	1.2390e-04
6.8	5.5506	0.781	2.1634e-09	3.6872e-03	0.898	8.5559e-05
6.9	5.6506	0.778	1.2893e-09	3.3593e-03	0.891	5.9413e-05
7.0	5.7506	0.776	7.5992e-10	3.0546e-03	0.883	4.1420e-05
7.1	5.8506	0.774	4.4285e-10	2.7719e-03	0.876	2.8948e-05
7.2	5.9506	0.772	2.5506e-10	2.5102e-03	0.870	2.0257e-05
7.3	6.0506	0.770	1.4514e-10	2.2683e-03	0.863	1.4178e-05
7.4	6.1506	0.768	8.1573e-11	2.0454e-03	0.857	9.9154e-06
7.5	6.2506	0.766	4.5264e-11	1.8402e-03	0.851	6.9234e-06
7.6	6.3506	0.765	2.4789e-11	1.6519e-03	0.845	4.8230e-06
7.7	6.4506	0.763	1.3394e-11	1.4794e-03	0.840	3.3499e-06
7.8	6.5506	0.762	7.1373e-12	1.3218e-03	0.834	2.3184e-06
7.9	6.6506	0.761	3.7498e-12	1.1782e-03	0.829	1.5980e-06
8.0	6.7506	0.760	1.9416e-12	1.0475e-03	0.825	1.0965e-06
8.1	6.8506	0.759	9.9042e-13	9.2899e-04	0.820	7.4851e-07
8.2	6.9506	0.758	4.9755e-13	8.2174e-04	0.816	5.0820e-07
8.3	7.0506	0.757	2.4606e-13	7.2495e-04	0.811	3.4301e-07
8.4	7.1506	0.756	1.1975e-13	6.3782e-04	0.807	2.3007e-07
8.5	7.2506	0.755	5.7330e-14	5.5960e-04	0.804	1.5330e-07
8.6	7.3506	0.755	2.6987e-14	4.8959e-04	0.800	1.0143e-07
8.7	7.4506	0.754	1.2487e-14	4.2709e-04	0.797	6.6619e-08
8.8	7.5506	0.754	5.6762e-15	3.7146e-04	0.793	4.3421e-08

Code origine : M=8, R=1/2
 Generateurs : 561 753
 Distance libre du code origine : df= 12

Code perfore : M=8, R=3/4
 Patron de perforation : 111
 100

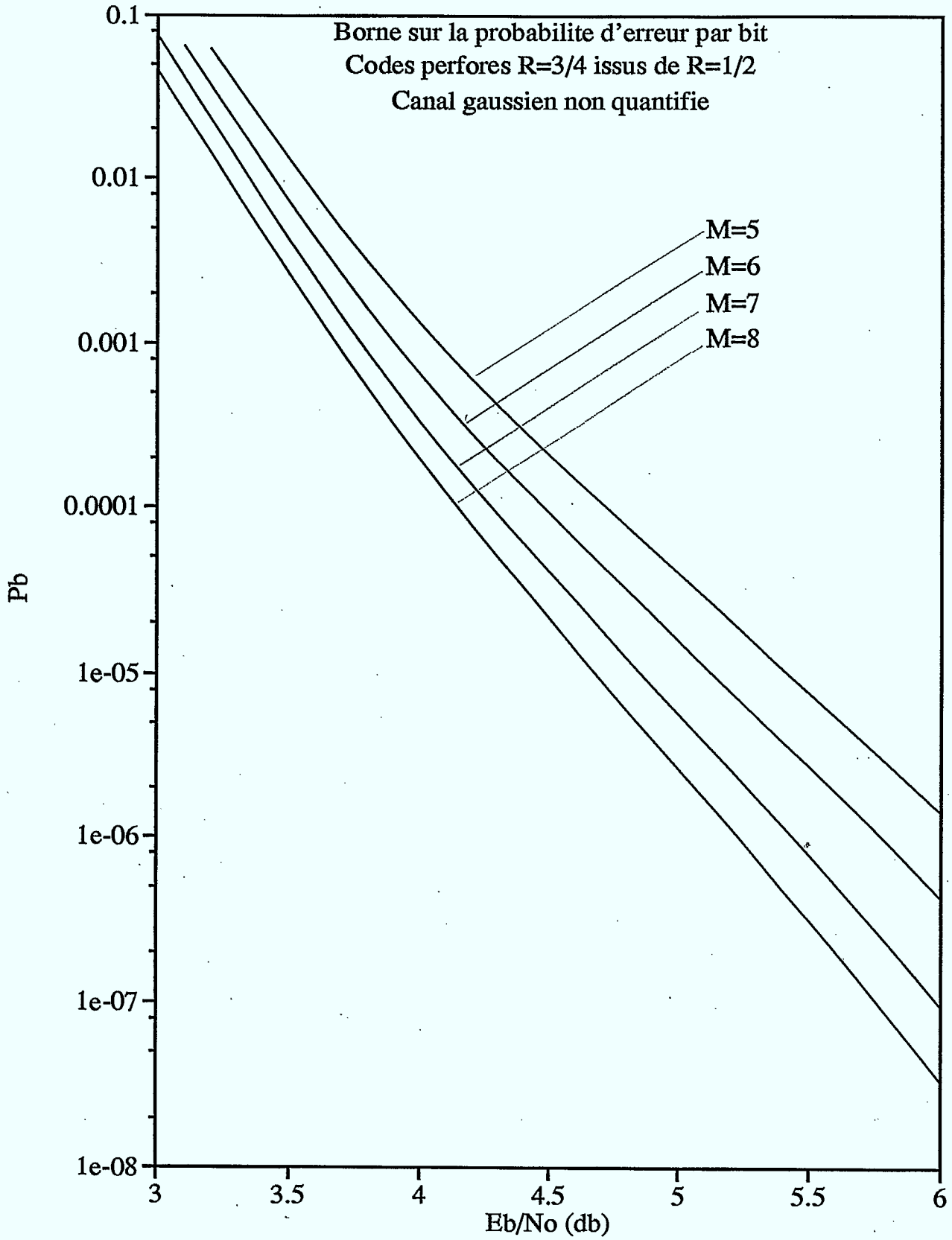
SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

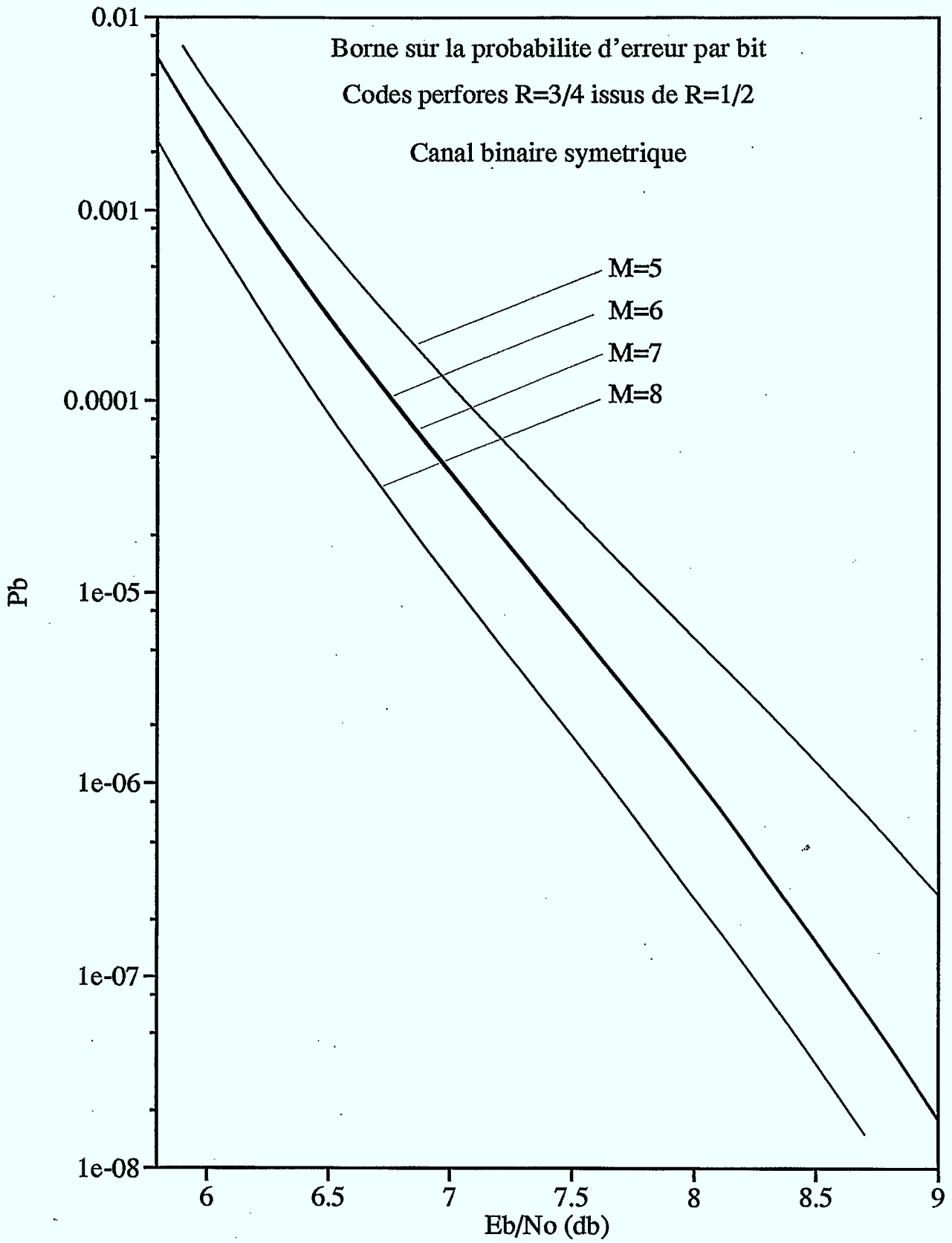
Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
6	10	52
7	77	659
8	303	3265
9	1599	21442
10	8565	133697
11	44820	805582
12	236282	4812376
13	1236772	28104955
14	6486761	162813046
15	34044045	935013969
16	178618742	5328420488
17	937256996	30179826840
18	4917567406	169990909446
19	25801447415	953000951991
20	135376841986	5320829276184

MEMOIRE : 8
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/2
 GENERATEURS : 561 753

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 3/4
 PATRON DE PERFORATION : 111
 100

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
3.5	2.2506	0.996	2.5878e-03	3.3438e-02	1.347	---
3.6	2.3506	0.984	1.4988e-03	3.1889e-02	1.326	---
3.7	2.4506	0.973	8.8071e-04	3.0383e-02	1.306	---
3.8	2.5506	0.963	5.2578e-04	2.8920e-02	1.286	---
3.9	2.6506	0.952	3.1909e-04	2.7500e-02	1.267	---
4.0	2.7506	0.942	1.9681e-04	2.6124e-02	1.249	---
4.1	2.8506	0.933	1.2324e-04	2.4790e-02	1.231	---
4.2	2.9506	0.923	7.8220e-05	2.3500e-02	1.213	---
4.3	3.0506	0.915	5.0218e-05	2.2252e-02	1.196	---
4.4	3.1506	0.906	3.2543e-05	2.1048e-02	1.179	---
4.5	3.2506	0.898	2.1241e-05	1.9886e-02	1.163	---
4.6	3.3506	0.890	1.3937e-05	1.8767e-02	1.148	---
4.7	3.4506	0.882	9.1766e-06	1.7689e-02	1.132	---
4.8	3.5506	0.875	6.0536e-06	1.6654e-02	1.117	---
4.9	3.6506	0.868	3.9955e-06	1.5659e-02	1.103	---
5.0	3.7506	0.861	2.6355e-06	1.4705e-02	1.089	---
5.1	3.8506	0.854	1.7356e-06	1.3792e-02	1.075	---
5.2	3.9506	0.848	1.1402e-06	1.2918e-02	1.062	---
5.3	4.0506	0.842	7.4657e-07	1.2083e-02	1.049	---
5.4	4.1506	0.836	4.8694e-07	1.1287e-02	1.037	---
5.5	4.2506	0.831	3.1617e-07	1.0528e-02	1.025	---
5.6	4.3506	0.826	2.0426e-07	9.8057e-03	1.013	---
5.7	4.4506	0.821	1.3123e-07	9.1196e-03	1.001	---
5.8	4.5506	0.816	8.3814e-08	8.4688e-03	0.990	2.2656e-03
5.9	4.6506	0.812	5.3188e-08	7.8522e-03	0.980	1.3523e-03
6.0	4.7506	0.807	3.3525e-08	7.2690e-03	0.969	8.1918e-04
6.1	4.8506	0.803	2.0981e-08	6.7183e-03	0.959	5.0421e-04
6.2	4.9506	0.800	1.3032e-08	6.1990e-03	0.950	3.1546e-04
6.3	5.0506	0.796	8.0314e-09	5.7102e-03	0.940	2.0056e-04
6.4	5.1506	0.792	4.9092e-09	5.2509e-03	0.931	1.2945e-04
6.5	5.2506	0.789	2.9753e-09	4.8200e-03	0.923	8.4690e-05
6.6	5.3506	0.786	1.7873e-09	4.4164e-03	0.914	5.6070e-05
6.7	5.4506	0.783	1.0639e-09	4.0392e-03	0.906	3.7496e-05
6.8	5.5506	0.781	6.2728e-10	3.6872e-03	0.898	2.5281e-05
6.9	5.6506	0.778	3.6623e-10	3.3593e-03	0.891	1.7156e-05
7.0	5.7506	0.776	2.1166e-10	3.0546e-03	0.883	1.1700e-05
7.1	5.8506	0.774	1.2105e-10	2.7719e-03	0.876	8.0070e-06
7.2	5.9506	0.772	6.8482e-11	2.5102e-03	0.870	5.4925e-06
7.3	6.0506	0.770	3.8313e-11	2.2683e-03	0.863	3.7724e-06
7.4	6.1506	0.768	2.1189e-11	2.0454e-03	0.857	2.5919e-06
7.5	6.2506	0.766	1.1581e-11	1.8402e-03	0.851	1.7798e-06
7.6	6.3506	0.765	6.2523e-12	1.6519e-03	0.845	1.2207e-06
7.7	6.4506	0.763	3.3334e-12	1.4794e-03	0.840	8.3560e-07
7.8	6.5506	0.762	1.7542e-12	1.3218e-03	0.834	5.7055e-07
7.9	6.6506	0.761	9.1097e-13	1.1782e-03	0.829	3.8837e-07
8.0	6.7506	0.760	4.6661e-13	1.0475e-03	0.825	2.6341e-07
8.1	6.8506	0.759	2.3565e-13	9.2899e-04	0.820	1.7792e-07
8.2	6.9506	0.758	1.1729e-13	8.2174e-04	0.816	1.1963e-07
8.3	7.0506	0.757	5.7517e-14	7.2495e-04	0.811	8.0028e-08
8.4	7.1506	0.756	2.7775e-14	6.3782e-04	0.807	5.3246e-08
8.5	7.2506	0.755	1.3202e-14	5.5960e-04	0.804	3.5219e-08
8.6	7.3506	0.755	6.1748e-15	4.8959e-04	0.800	2.3149e-08
8.7	7.4506	0.754	2.8402e-15	4.2709e-04	0.797	1.5114e-08
8.8	7.5506	0.754	1.2843e-15	3.7146e-04	0.793	9.7988e-09





Code origine : M=5, R=1/2
 Generateurs : 53 75
 Distance libre du code origine : df= 8

Code perfore : M=5, R=4/5
 Patron de perforation : 1000
 1111

SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
4	7	40
5	54	381
6	307	3251
7	2005	27123
8	12962	213366
9	83111	1619872
10	532859	11986282
11	3417085	87121461
12	21921778	624743990
13	140627199	4429930822
14	902063096	31124718175
15	5786457561	217030389619
16	37118404365	1503639194009
17	238102930818	10360319475187
18	1527356869247	71044393180571
19	9797524148048	485146580747572
20	62848092847211	3300777376764137

MEMOIRE : 5
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/2
 GENERATEURS : 53 75

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 4/5
 PATRON DE PERFORATION : 1000
 1111

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
3.8	2.8309	0.997	1.3550e-02	2.5050e-02	1.317	---
3.9	2.9309	0.987	7.8307e-03	2.3751e-02	1.298	---
4.0	3.0309	0.977	4.6684e-03	2.2495e-02	1.279	---
4.1	3.1309	0.968	2.8721e-03	2.1282e-02	1.262	---
4.2	3.2309	0.959	1.8207e-03	2.0112e-02	1.244	---
4.3	3.3309	0.951	1.1859e-03	1.8984e-02	1.227	---
4.4	3.4309	0.942	7.9073e-04	1.7898e-02	1.211	---
4.5	3.5309	0.934	5.3759e-04	1.6854e-02	1.195	---
4.6	3.6309	0.927	3.7130e-04	1.5852e-02	1.179	---
4.7	3.7309	0.920	2.5967e-04	1.4890e-02	1.164	---
4.8	3.8309	0.913	1.8337e-04	1.3969e-02	1.150	---
4.9	3.9309	0.906	1.3044e-04	1.3087e-02	1.136	---
5.0	4.0309	0.899	9.3287e-05	1.2245e-02	1.122	---
5.1	4.1309	0.893	6.6972e-05	1.1441e-02	1.108	---
5.2	4.2309	0.887	4.8198e-05	1.0674e-02	1.095	---
5.3	4.3309	0.882	3.4734e-05	9.9451e-03	1.083	---
5.4	4.4309	0.877	2.5040e-05	9.2520e-03	1.071	---
5.5	4.5309	0.871	1.8044e-05	8.5943e-03	1.059	---
5.6	4.6309	0.867	1.2988e-05	7.9711e-03	1.047	---
5.7	4.7309	0.862	9.3313e-06	7.3814e-03	1.036	---
5.8	4.8309	0.858	6.6885e-06	6.8243e-03	1.026	---
5.9	4.9309	0.854	4.7805e-06	6.2990e-03	1.015	---
6.0	5.0309	0.850	3.4053e-06	5.8042e-03	1.005	---
6.1	5.1309	0.846	2.4165e-06	5.3392e-03	0.995	1.4456e-02
6.2	5.2309	0.843	1.7077e-06	4.9027e-03	0.986	8.6586e-03
6.3	5.3309	0.839	1.2013e-06	4.4939e-03	0.977	5.3496e-03
6.4	5.4309	0.836	8.4090e-07	4.1115e-03	0.968	3.4100e-03
6.5	5.5309	0.833	5.8552e-07	3.7546e-03	0.960	2.2394e-03
6.6	5.6309	0.831	4.0542e-07	3.4221e-03	0.952	1.5109e-03
6.7	5.7309	0.828	2.7906e-07	3.1129e-03	0.944	1.0436e-03
6.8	5.8309	0.826	1.9089e-07	2.8259e-03	0.936	7.3540e-04
6.9	5.9309	0.823	1.2972e-07	2.5601e-03	0.929	5.2676e-04
7.0	6.0309	0.821	8.7551e-08	2.3145e-03	0.922	3.8236e-04
7.1	6.1309	0.819	5.8670e-08	2.0879e-03	0.915	2.8050e-04
7.2	6.2309	0.818	3.9025e-08	1.8793e-03	0.909	2.0749e-04
7.3	6.3309	0.816	2.5758e-08	1.6878e-03	0.903	1.5447e-04
7.4	6.4309	0.814	1.6866e-08	1.5122e-03	0.897	1.1556e-04
7.5	6.5309	0.813	1.0952e-08	1.3518e-03	0.891	8.6746e-05
7.6	6.6309	0.812	7.0509e-09	1.2054e-03	0.886	6.5272e-05
7.7	6.7309	0.810	4.4993e-09	1.0723e-03	0.881	4.9182e-05
7.8	6.8309	0.809	2.8448e-09	9.5144e-04	0.876	3.7076e-05
7.9	6.9309	0.808	1.7818e-09	8.4203e-04	0.871	2.7944e-05
8.0	7.0309	0.807	1.1052e-09	7.4324e-04	0.866	2.1042e-05
8.1	7.1309	0.807	6.7862e-10	6.5426e-04	0.862	1.5820e-05
8.2	7.2309	0.806	4.1241e-10	5.7435e-04	0.858	1.1870e-05
8.3	7.3309	0.805	2.4798e-10	5.0278e-04	0.854	8.8836e-06
8.4	7.4309	0.805	1.4748e-10	4.3885e-04	0.850	6.6284e-06
8.5	7.5309	0.804	8.6727e-11	3.8192e-04	0.847	4.9287e-06
8.6	7.6309	0.804	5.0413e-11	3.3136e-04	0.844	3.6507e-06
8.7	7.7309	0.803	2.8958e-11	2.8662e-04	0.840	2.6927e-06
8.8	7.8309	0.803	1.6432e-11	2.4713e-04	0.837	1.9771e-06
8.9	7.9309	0.802	9.2080e-12	2.1239e-04	0.835	1.4445e-06
9.0	8.0309	0.802	5.0939e-12	1.8193e-04	0.832	1.0498e-06

Code origine : M=6, R=1/2
 Generateurs : 133 171
 Distance libre du code origine : $df= 10$

Code perfore : M=6, R=4/5
 Patron de perforation :1111
 1000

SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
4	3	12
5	24	188
6	172	1732
7	1158	15256
8	7408	121367
9	48706	945395
10	319563	7167584
11	2094852	53348314
12	13737566	391598110
13	90083445	2841623034
14	590747933	20429385546
15	3873778522	145733851709
16	25402176247	1032823250672
17	166575148962	7278839807921
18	1092316295190	51049688520668
19	7162863732218	356520695511704
20	46970475312763	2480591020314104

MEMOIRE : 6
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/2
 GENERATEURS : 133 171

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 4/5
 PATRON DE PERFORATION : 1111
 1000

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
3.8	2.8309	0.997	8.5032e-03	2.5050e-02	1.317	---
3.9	2.9309	0.987	4.7757e-03	2.3751e-02	1.298	---
4.0	3.0309	0.977	2.7611e-03	2.2495e-02	1.279	---
4.1	3.1309	0.968	1.6455e-03	2.1282e-02	1.262	---
4.2	3.2309	0.959	1.0104e-03	2.0112e-02	1.244	---
4.3	3.3309	0.951	6.3780e-04	1.8984e-02	1.227	---
4.4	3.4309	0.942	4.1262e-04	1.7898e-02	1.211	---
4.5	3.5309	0.934	2.7256e-04	1.6854e-02	1.195	---
4.6	3.6309	0.927	1.8317e-04	1.5852e-02	1.179	---
4.7	3.7309	0.920	1.2481e-04	1.4890e-02	1.164	---
4.8	3.8309	0.913	8.5968e-05	1.3969e-02	1.150	---
4.9	3.9309	0.906	5.9717e-05	1.3087e-02	1.136	---
5.0	4.0309	0.899	4.1747e-05	1.2245e-02	1.122	---
5.1	4.1309	0.893	2.9322e-05	1.1441e-02	1.108	---
5.2	4.2309	0.887	2.0662e-05	1.0674e-02	1.095	---
5.3	4.3309	0.882	1.4591e-05	9.9451e-03	1.083	---
5.4	4.4309	0.877	1.0316e-05	9.2520e-03	1.071	---
5.5	4.5309	0.871	7.2951e-06	8.5943e-03	1.059	---
5.6	4.6309	0.867	5.1567e-06	7.9711e-03	1.047	---
5.7	4.7309	0.862	3.6411e-06	7.3814e-03	1.036	---
5.8	4.8309	0.858	2.5667e-06	6.8243e-03	1.026	---
5.9	4.9309	0.854	1.8053e-06	6.2990e-03	1.015	---
6.0	5.0309	0.850	1.2664e-06	5.8042e-03	1.005	---
6.1	5.1309	0.846	8.8563e-07	5.3392e-03	0.995	8.9870e-03
6.2	5.2309	0.843	6.1715e-07	4.9027e-03	0.986	5.2120e-03
6.3	5.3309	0.839	4.2839e-07	4.4939e-03	0.977	3.1089e-03
6.4	5.4309	0.836	2.9609e-07	4.1115e-03	0.968	1.9096e-03
6.5	5.5309	0.833	2.0370e-07	3.7546e-03	0.960	1.2073e-03
6.6	5.6309	0.831	1.3944e-07	3.4221e-03	0.952	7.8414e-04
6.7	5.7309	0.828	9.4950e-08	3.1129e-03	0.944	5.2182e-04
6.8	5.8309	0.826	6.4291e-08	2.8259e-03	0.936	3.5462e-04
6.9	5.9309	0.823	4.3273e-08	2.5601e-03	0.929	2.4531e-04
7.0	6.0309	0.821	2.8944e-08	2.3145e-03	0.922	1.7221e-04
7.1	6.1309	0.819	1.9233e-08	2.0879e-03	0.915	1.2237e-04
7.2	6.2309	0.818	1.2693e-08	1.8793e-03	0.909	8.7806e-05
7.3	6.3309	0.816	8.3161e-09	1.6878e-03	0.903	6.3506e-05
7.4	6.4309	0.814	5.4080e-09	1.5122e-03	0.897	4.6223e-05
7.5	6.5309	0.813	3.4894e-09	1.3518e-03	0.891	3.3812e-05
7.6	6.6309	0.812	2.2333e-09	1.2054e-03	0.886	2.4829e-05
7.7	6.7309	0.810	1.4174e-09	1.0723e-03	0.881	1.8285e-05
7.8	6.8309	0.809	8.9171e-10	9.5144e-04	0.876	1.3493e-05
7.9	6.9309	0.808	5.5594e-10	8.4203e-04	0.871	9.9690e-06
8.0	7.0309	0.807	3.4337e-10	7.4324e-04	0.866	7.3697e-06
8.1	7.1309	0.807	2.1004e-10	6.5426e-04	0.862	5.4478e-06
8.2	7.2309	0.806	1.2720e-10	5.7435e-04	0.858	4.0244e-06
8.3	7.3309	0.805	7.6238e-11	5.0278e-04	0.854	2.9693e-06
8.4	7.4309	0.805	4.5210e-11	4.3885e-04	0.850	2.1870e-06
8.5	7.5309	0.804	2.6517e-11	3.8192e-04	0.847	1.6073e-06
8.6	7.6309	0.804	1.5378e-11	3.3136e-04	0.844	1.1781e-06
8.7	7.7309	0.803	8.8151e-12	2.8662e-04	0.840	8.6075e-07
8.8	7.8309	0.803	4.9927e-12	2.4713e-04	0.837	6.2667e-07
8.9	7.9309	0.802	2.7931e-12	2.1239e-04	0.835	4.5443e-07
9.0	8.0309	0.802	1.5428e-12	1.8193e-04	0.832	3.2809e-07

Code origine : M=7, R=1/2
 Generateurs : 247 371
 Distance libre du code origine : df= 10

Code perfore : M=7, R=4/5
 Patron de perforation : 1010
 1101

SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
5	20	168
6	115	1232
7	694	9120
8	4816	78715
9	32027	626483
10	210870	4758224
11	1392223	35612363
12	9216958	263747440
13	60957249	1929003448
14	403198971	13981896228
15	2666828737	100564163628
16	17639306976	718644507213
17	116668980444	5106924343045
18	771681651493	36118215230919
19	5104081137440	254368367994199
20	33759675859523	1784807758975249

MEMOIRE : 7
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/2
 GENERATEURS : 247 371

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 4/5
 PATRON DE PERFORATION : 1010
 1101

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
3.8	2.8309	0.997	5.7761e-03	2.5050e-02	1.317	---
3.9	2.9309	0.987	3.2155e-03	2.3751e-02	1.298	---
4.0	3.0309	0.977	1.8408e-03	2.2495e-02	1.279	---
4.1	3.1309	0.968	1.0852e-03	2.1282e-02	1.262	---
4.2	3.2309	0.959	6.5846e-04	2.0112e-02	1.244	---
4.3	3.3309	0.951	4.1035e-04	1.8984e-02	1.227	---
4.4	3.4309	0.942	2.6179e-04	1.7898e-02	1.211	---
4.5	3.5309	0.934	1.7031e-04	1.6854e-02	1.195	---
4.6	3.6309	0.927	1.1255e-04	1.5852e-02	1.179	---
4.7	3.7309	0.920	7.5294e-05	1.4890e-02	1.164	---
4.8	3.8309	0.913	5.0826e-05	1.3969e-02	1.150	---
4.9	3.9309	0.906	3.4530e-05	1.3087e-02	1.136	---
5.0	4.0309	0.899	2.3558e-05	1.2245e-02	1.122	---
5.1	4.1309	0.893	1.6112e-05	1.1441e-02	1.108	---
5.2	4.2309	0.887	1.1029e-05	1.0674e-02	1.095	---
5.3	4.3309	0.882	7.5475e-06	9.9451e-03	1.083	---
5.4	4.4309	0.877	5.1578e-06	9.2520e-03	1.071	---
5.5	4.5309	0.871	3.5167e-06	8.5943e-03	1.059	---
5.6	4.6309	0.867	2.3904e-06	7.9711e-03	1.047	---
5.7	4.7309	0.862	1.6187e-06	7.3814e-03	1.036	---
5.8	4.8309	0.858	1.0913e-06	6.8243e-03	1.026	---
5.9	4.9309	0.854	7.3218e-07	6.2990e-03	1.015	---
6.0	5.0309	0.850	4.8856e-07	5.8042e-03	1.005	---
6.1	5.1309	0.846	3.2408e-07	5.3392e-03	0.995	6.0120e-03
6.2	5.2309	0.843	2.1362e-07	4.9027e-03	0.986	3.4295e-03
6.3	5.3309	0.839	1.3986e-07	4.4939e-03	0.977	2.0048e-03
6.4	5.4309	0.836	9.0918e-08	4.1115e-03	0.968	1.2020e-03
6.5	5.5309	0.833	5.8662e-08	3.7546e-03	0.960	7.3870e-04
6.6	5.6309	0.831	3.7553e-08	3.4221e-03	0.952	4.6444e-04
6.7	5.7309	0.828	2.3843e-08	3.1129e-03	0.944	2.9789e-04
6.8	5.8309	0.826	1.5010e-08	2.8259e-03	0.936	1.9428e-04
6.9	5.9309	0.823	9.3653e-09	2.5601e-03	0.929	1.2841e-04
7.0	6.0309	0.821	5.7899e-09	2.3145e-03	0.922	8.5757e-05
7.1	6.1309	0.819	3.5455e-09	2.0879e-03	0.915	5.7704e-05
7.2	6.2309	0.818	2.1498e-09	1.8793e-03	0.909	3.9030e-05
7.3	6.3309	0.816	1.2903e-09	1.6878e-03	0.903	2.6484e-05
7.4	6.4309	0.814	7.6630e-10	1.5122e-03	0.897	1.7998e-05
7.5	6.5309	0.813	4.5020e-10	1.3518e-03	0.891	1.2233e-05
7.6	6.6309	0.812	2.6156e-10	1.2054e-03	0.886	8.3057e-06
7.7	6.7309	0.810	1.5022e-10	1.0723e-03	0.881	5.6276e-06
7.8	6.8309	0.809	8.5258e-11	9.5144e-04	0.876	3.8018e-06
7.9	6.9309	0.808	4.7803e-11	8.4203e-04	0.871	2.5588e-06
8.0	7.0309	0.807	2.6469e-11	7.4324e-04	0.866	1.7147e-06
8.1	7.1309	0.807	1.4469e-11	6.5426e-04	0.862	1.1433e-06
8.2	7.2309	0.806	7.8052e-12	5.7435e-04	0.858	7.5806e-07
8.3	7.3309	0.805	4.1538e-12	5.0278e-04	0.854	4.9960e-07
8.4	7.4309	0.805	2.1799e-12	4.3885e-04	0.850	3.2712e-07
8.5	7.5309	0.804	1.1278e-12	3.8192e-04	0.847	2.1269e-07
8.6	7.6309	0.804	5.7498e-13	3.3136e-04	0.844	1.3727e-07
8.7	7.7309	0.803	2.8875e-13	2.8662e-04	0.840	8.7903e-08
8.8	7.8309	0.803	1.4279e-13	2.4713e-04	0.837	5.5832e-08
8.9	7.9309	0.802	6.9501e-14	2.1239e-04	0.835	3.5160e-08
9.0	8.0309	0.802	3.3284e-14	1.8193e-04	0.832	2.1945e-08

Code origine : M=8, R=1/2
 Generateurs : 561 753
 Distance libre du code origine : df= 12

Code perfore : M=8, R=4/5
 Patron de perforation : 1101
 1010

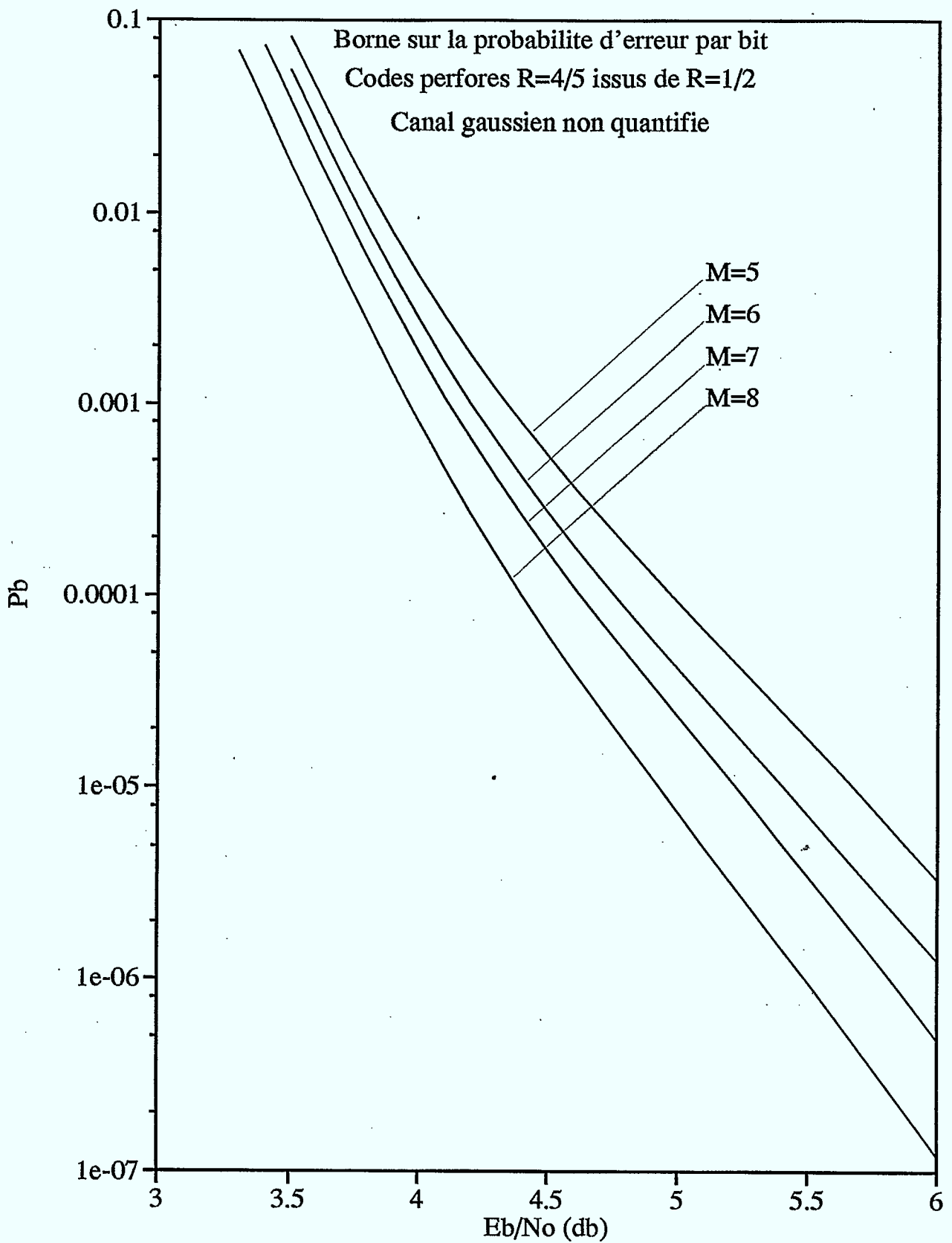
SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

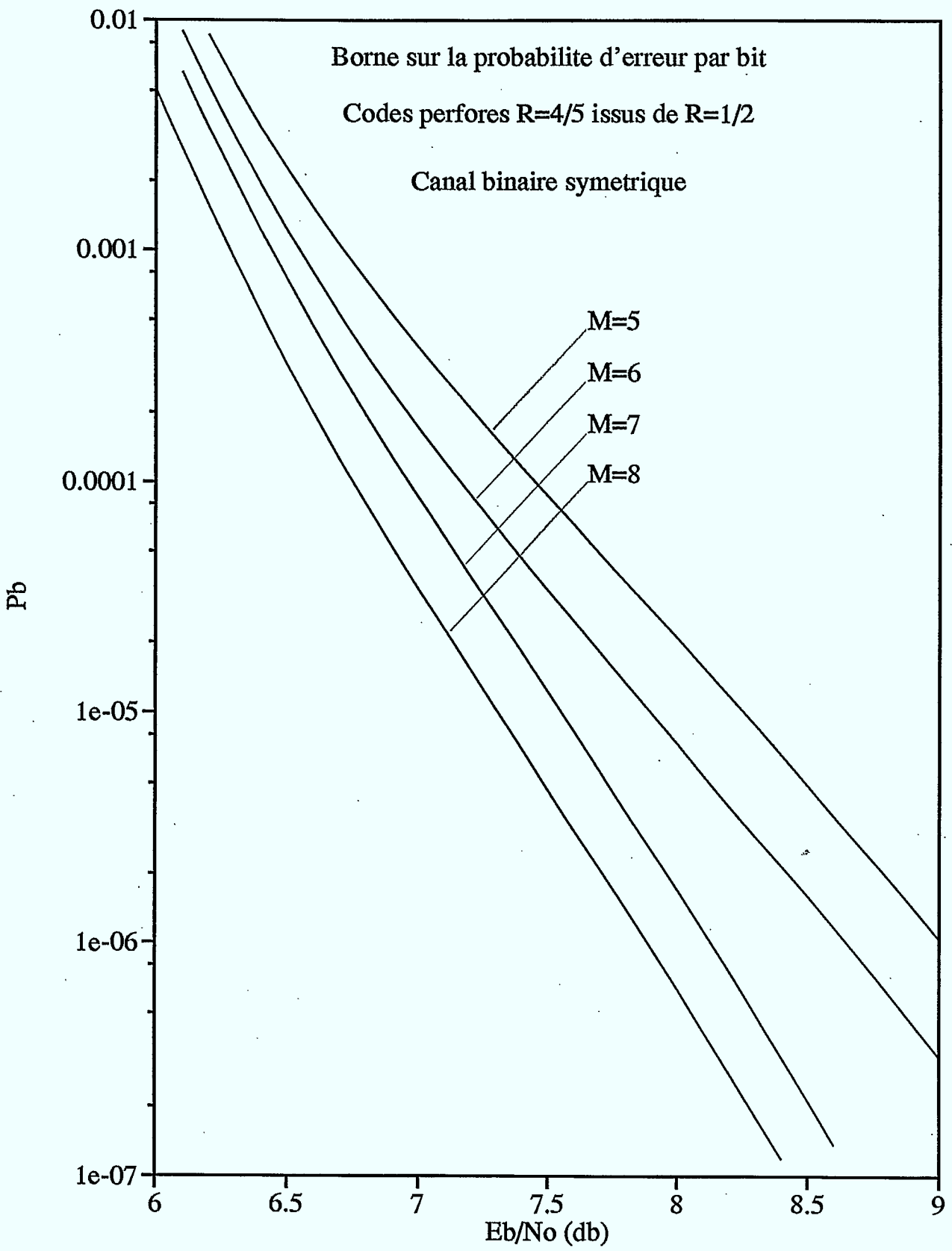
Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
5	7	31
6	49	469
7	351	4205
8	2259	34011
9	14749	268650
10	99594	2113885
11	663840	16117071
12	4429835	121189687
13	29524209	898055743
14	196939465	6594294842
15	1313415940	48000274649
16	8760330144	347002240960
17	58425077464	2493264418676
18	389669475488	17822990413339
19	2598874260586	126831913234313
20	17333182606733	899015049488530

MEMOIRE : 8
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/2
 GENERATEURS : 561 753

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 4/5
 PATRON DE PERFORATION : 1101
 1010

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
3.8	2.8309	0.997	2.6275e-03	2.5050e-02	1.317	---
3.9	2.9309	0.987	1.4310e-03	2.3751e-02	1.298	---
4.0	3.0309	0.977	7.9871e-04	2.2495e-02	1.279	---
4.1	3.1309	0.968	4.5768e-04	2.1282e-02	1.262	---
4.2	3.2309	0.959	2.6931e-04	2.0112e-02	1.244	---
4.3	3.3309	0.951	1.6251e-04	1.8984e-02	1.227	---
4.4	3.4309	0.942	1.0031e-04	1.7898e-02	1.211	---
4.5	3.5309	0.934	6.3131e-05	1.6854e-02	1.195	---
4.6	3.6309	0.927	4.0373e-05	1.5852e-02	1.179	---
4.7	3.7309	0.920	2.6149e-05	1.4890e-02	1.164	---
4.8	3.8309	0.913	1.7102e-05	1.3969e-02	1.150	---
4.9	3.9309	0.906	1.1265e-05	1.3087e-02	1.136	---
5.0	4.0309	0.899	7.4584e-06	1.2245e-02	1.122	---
5.1	4.1309	0.893	4.9541e-06	1.1441e-02	1.108	---
5.2	4.2309	0.887	3.2965e-06	1.0674e-02	1.095	---
5.3	4.3309	0.882	2.1948e-06	9.9451e-03	1.083	---
5.4	4.4309	0.877	1.4605e-06	9.2520e-03	1.071	---
5.5	4.5309	0.871	9.7056e-07	8.5943e-03	1.059	---
5.6	4.6309	0.867	6.4358e-07	7.9711e-03	1.047	---
5.7	4.7309	0.862	4.2555e-07	7.3814e-03	1.036	---
5.8	4.8309	0.858	2.8042e-07	6.8243e-03	1.026	---
5.9	4.9309	0.854	1.8405e-07	6.2990e-03	1.015	---
6.0	5.0309	0.850	1.2025e-07	5.8042e-03	1.005	---
6.1	5.1309	0.846	7.8183e-08	5.3392e-03	0.995	2.7741e-03
6.2	5.2309	0.843	5.0557e-08	4.9027e-03	0.986	1.5586e-03
6.3	5.3309	0.839	3.2504e-08	4.4939e-03	0.977	8.9620e-04
6.4	5.4309	0.836	2.0768e-08	4.1115e-03	0.968	5.2812e-04
6.5	5.5309	0.833	1.3182e-08	3.7546e-03	0.960	3.1894e-04
6.6	5.6309	0.831	8.3087e-09	3.4221e-03	0.952	1.9712e-04
6.7	5.7309	0.828	5.1989e-09	3.1129e-03	0.944	1.2438e-04
6.8	5.8309	0.826	3.2281e-09	2.8259e-03	0.936	7.9890e-05
6.9	5.9309	0.823	1.9883e-09	2.5601e-03	0.929	5.2066e-05
7.0	6.0309	0.821	1.2145e-09	2.3145e-03	0.922	3.4325e-05
7.1	6.1309	0.819	7.3531e-10	2.0879e-03	0.915	2.2827e-05
7.2	6.2309	0.818	4.4117e-10	1.8793e-03	0.909	1.5276e-05
7.3	6.3309	0.816	2.6219e-10	1.6878e-03	0.903	1.0266e-05
7.4	6.4309	0.814	1.5431e-10	1.5122e-03	0.897	6.9159e-06
7.5	6.5309	0.813	8.9892e-11	1.3518e-03	0.891	4.6635e-06
7.6	6.6309	0.812	5.1819e-11	1.2054e-03	0.886	3.1436e-06
7.7	6.7309	0.810	2.9547e-11	1.0723e-03	0.881	2.1162e-06
7.8	6.8309	0.809	1.6660e-11	9.5144e-04	0.876	1.4213e-06
7.9	6.9309	0.808	9.2844e-12	8.4203e-04	0.871	9.5155e-07
8.0	7.0309	0.807	5.1125e-12	7.4324e-04	0.866	6.3461e-07
8.1	7.1309	0.807	2.7806e-12	6.5426e-04	0.862	4.2132e-07
8.2	7.2309	0.806	1.4931e-12	5.7435e-04	0.858	2.7829e-07
8.3	7.3309	0.805	7.9129e-13	5.0278e-04	0.854	1.8278e-07
8.4	7.4309	0.805	4.1372e-13	4.3885e-04	0.850	1.1931e-07
8.5	7.5309	0.804	2.1331e-13	3.8192e-04	0.847	7.7363e-08
8.6	7.6309	0.804	1.0842e-13	3.3136e-04	0.844	4.9809e-08
8.7	7.7309	0.803	5.4300e-14	2.8662e-04	0.840	3.1828e-08
8.8	7.8309	0.803	2.6786e-14	2.4713e-04	0.837	2.0178e-08
8.9	7.9309	0.802	1.3010e-14	2.1239e-04	0.835	1.2686e-08
9.0	8.0309	0.802	6.2183e-15	1.8193e-04	0.832	7.9062e-09





Code origine : M=5, R=1/2
Generateurs : 53 75
Distance libre du code origine : df= 8

Code perfore : M=5, R=7/8
Patron de perforation : 1011101
1100010

SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
3	9	60
4	122	1360
5	1195	18971
6	12115	252410
7	123244	3154347
8	1249154	37992133
9	12688325	446954554
10	128839743	5158103575
11	1308192104	58669222751
12	13283322498	659639027495

MEMOIRE : 5
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/2
 GENERATEURS : 53 75

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 7/8
 PATRON DE PERFORATION : 1011101
 1100010

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
4.4	3.8201	0.999	1.2755e-02	1.4067e-02	1.259	---
4.5	3.9201	0.992	8.1993e-03	1.3181e-02	1.244	---
4.6	4.0201	0.985	5.3421e-03	1.2334e-02	1.229	---
4.7	4.1201	0.978	3.5307e-03	1.1526e-02	1.214	---
4.8	4.2201	0.971	2.3677e-03	1.0755e-02	1.200	---
4.9	4.3201	0.965	1.6104e-03	1.0022e-02	1.186	---
5.0	4.4201	0.959	1.1100e-03	9.3253e-03	1.172	---
5.1	4.5201	0.954	7.7437e-04	8.6638e-03	1.159	---
5.2	4.6201	0.948	5.4596e-04	8.0369e-03	1.147	---
5.3	4.7201	0.943	3.8840e-04	7.4436e-03	1.135	---
5.4	4.8201	0.939	2.7838e-04	6.8831e-03	1.123	---
5.5	4.9201	0.934	2.0072e-04	6.3543e-03	1.112	---
5.6	5.0201	0.930	1.4540e-04	5.8563e-03	1.100	---
5.7	5.1201	0.926	1.0569e-04	5.3881e-03	1.090	---
5.8	5.2201	0.922	7.7007e-05	4.9486e-03	1.080	---
5.9	5.3201	0.918	5.6190e-05	4.5368e-03	1.070	---
6.0	5.4201	0.915	4.1027e-05	4.1516e-03	1.060	---
6.1	5.5201	0.912	2.9952e-05	3.7920e-03	1.051	---
6.2	5.6201	0.909	2.1851e-05	3.4569e-03	1.042	---
6.3	5.7201	0.906	1.5920e-05	3.1453e-03	1.033	---
6.4	5.8201	0.903	1.1578e-05	2.8559e-03	1.025	---
6.5	5.9201	0.901	8.4004e-06	2.5879e-03	1.017	---
6.6	6.0201	0.899	6.0782e-06	2.3401e-03	1.009	---
6.7	6.1201	0.896	4.3841e-06	2.1115e-03	1.002	---
6.8	6.2201	0.894	3.1510e-06	1.9010e-03	0.995	1.2236e-02
6.9	6.3201	0.893	2.2558e-06	1.7077e-03	0.988	8.0648e-03
7.0	6.4201	0.891	1.6081e-06	1.5305e-03	0.982	5.3836e-03
7.1	6.5201	0.889	1.1410e-06	1.3684e-03	0.975	3.6406e-03
7.2	6.6201	0.888	8.0566e-07	1.2206e-03	0.969	2.4933e-03
7.3	6.7201	0.887	5.6587e-07	1.0861e-03	0.964	1.7281e-03
7.4	6.8201	0.885	3.9523e-07	9.6395e-04	0.958	1.2107e-03
7.5	6.9201	0.884	2.7443e-07	8.5334e-04	0.953	8.5613e-04
7.6	7.0201	0.883	1.8937e-07	7.5344e-04	0.948	6.1018e-04
7.7	7.1201	0.882	1.2983e-07	6.6344e-04	0.943	4.3761e-04
7.8	7.2201	0.882	8.8406e-08	5.8258e-04	0.939	3.1533e-04
7.9	7.3201	0.881	5.9774e-08	5.1014e-04	0.935	2.2798e-04
8.0	7.4201	0.880	4.0117e-08	4.4542e-04	0.930	1.6516e-04
8.1	7.5201	0.879	2.6718e-08	3.8776e-04	0.927	1.1976e-04
8.2	7.6201	0.879	1.7653e-08	3.3654e-04	0.923	8.6824e-05
8.3	7.7201	0.878	1.1567e-08	2.9119e-04	0.920	6.2880e-05
8.4	7.8201	0.878	7.5148e-09	2.5116e-04	0.916	4.5454e-05
8.5	7.9201	0.878	4.8390e-09	2.1593e-04	0.913	3.2772e-05
8.6	8.0201	0.877	3.0876e-09	1.8503e-04	0.910	2.3552e-05
8.7	8.1201	0.877	1.9516e-09	1.5801e-04	0.908	1.6862e-05
8.8	8.2201	0.877	1.2215e-09	1.3448e-04	0.905	1.2019e-05
8.9	8.3201	0.876	7.5696e-10	1.1404e-04	0.903	8.5259e-06
9.0	8.4201	0.876	4.6424e-10	9.6361e-05	0.900	6.0160e-06
9.1	8.5201	0.876	2.8170e-10	8.1121e-05	0.898	4.2208e-06
9.2	8.6201	0.876	1.6908e-10	6.8032e-05	0.896	2.9432e-06
9.3	8.7201	0.876	1.0034e-10	5.6835e-05	0.894	2.0391e-06
9.4	8.8201	0.876	5.8868e-11	4.7292e-05	0.893	1.4031e-06
9.5	8.9201	0.876	3.4128e-11	3.9192e-05	0.891	9.5856e-07
9.6	9.0201	0.875	1.9545e-11	3.2344e-05	0.890	6.4999e-07
9.7	9.1201	0.875	1.1055e-11	2.6580e-05	0.888	4.3733e-07

Code origine : M=6, R=1/2
 Generateurs : 133 171
 Distance libre du code origine : df= 10

Code perfore : M=6, R=7/8
 Patron de perforation : 1111010
 1000101

SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
3	2	9
4	46	500
5	499	7437
6	5291	105707
7	56179	1402743
8	599557	17909268
9	6387194	222292299
10	68117821	2706822556
11	726098696	32434972565
12	7741086706	383973015410

MEMOIRE : 6
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/2
 GENERATEURS : 133 171

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 7/8
 PATRON DE PERFORATION : 1111010
 1000101

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
4.4	3.8201	0.999	5.8582e-03	1.4067e-02	1.259	---
4.5	3.9201	0.992	3.6553e-03	1.3181e-02	1.244	---
4.6	4.0201	0.985	2.3061e-03	1.2334e-02	1.229	---
4.7	4.1201	0.978	1.4728e-03	1.1526e-02	1.214	---
4.8	4.2201	0.971	9.5299e-04	1.0755e-02	1.200	---
4.9	4.3201	0.965	6.2486e-04	1.0022e-02	1.186	---
5.0	4.4201	0.959	4.1503e-04	9.3253e-03	1.172	---
5.1	4.5201	0.954	2.7901e-04	8.6638e-03	1.159	---
5.2	4.6201	0.948	1.8963e-04	8.0369e-03	1.147	---
5.3	4.7201	0.943	1.3013e-04	7.4436e-03	1.135	---
5.4	4.8201	0.939	9.0018e-05	6.8831e-03	1.123	---
5.5	4.9201	0.934	6.2689e-05	6.3543e-03	1.112	---
5.6	5.0201	0.930	4.3890e-05	5.8563e-03	1.100	---
5.7	5.1201	0.926	3.0854e-05	5.3881e-03	1.090	---
5.8	5.2201	0.922	2.1755e-05	4.9486e-03	1.080	---
5.9	5.3201	0.918	1.5370e-05	4.5368e-03	1.070	---
6.0	5.4201	0.915	1.0872e-05	4.1516e-03	1.060	---
6.1	5.5201	0.912	7.6939e-06	3.7920e-03	1.051	---
6.2	5.6201	0.909	5.4440e-06	3.4569e-03	1.042	---
6.3	5.7201	0.906	3.8493e-06	3.1453e-03	1.033	---
6.4	5.8201	0.903	2.7185e-06	2.8559e-03	1.025	---
6.5	5.9201	0.901	1.9168e-06	2.5879e-03	1.017	---
6.6	6.0201	0.899	1.3488e-06	2.3401e-03	1.009	---
6.7	6.1201	0.896	9.4686e-07	2.1115e-03	1.002	---
6.8	6.2201	0.894	6.6292e-07	1.9010e-03	0.995	5.7275e-03
6.9	6.3201	0.893	4.6273e-07	1.7077e-03	0.988	3.6885e-03
7.0	6.4201	0.891	3.2194e-07	1.5305e-03	0.982	2.4047e-03
7.1	6.5201	0.889	2.2318e-07	1.3684e-03	0.975	1.5886e-03
7.2	6.6201	0.888	1.5411e-07	1.2206e-03	0.969	1.0636e-03
7.3	6.7201	0.887	1.0598e-07	1.0861e-03	0.964	7.2163e-04
7.4	6.8201	0.885	7.2557e-08	9.6395e-04	0.958	4.9572e-04
7.5	6.9201	0.884	4.9440e-08	8.5334e-04	0.953	3.4437e-04
7.6	7.0201	0.883	3.3518e-08	7.5344e-04	0.948	2.4158e-04
7.7	7.1201	0.882	2.2603e-08	6.6344e-04	0.943	1.7086e-04
7.8	7.2201	0.882	1.5157e-08	5.8258e-04	0.939	1.2163e-04
7.9	7.3201	0.881	1.0103e-08	5.1014e-04	0.935	8.7012e-05
8.0	7.4201	0.880	6.6926e-09	4.4542e-04	0.930	6.2466e-05
8.1	7.5201	0.879	4.4040e-09	3.8776e-04	0.927	4.4940e-05
8.2	7.6201	0.879	2.8780e-09	3.3654e-04	0.923	3.2363e-05
8.3	7.7201	0.878	1.8671e-09	2.9119e-04	0.920	2.3303e-05
8.4	7.8201	0.878	1.2021e-09	2.5116e-04	0.916	1.6761e-05
8.5	7.9201	0.878	7.6780e-10	2.1593e-04	0.913	1.2033e-05
8.6	8.0201	0.877	4.8635e-10	1.8503e-04	0.910	8.6165e-06
8.7	8.1201	0.877	3.0540e-10	1.5801e-04	0.908	6.1494e-06
8.8	8.2201	0.877	1.9006e-10	1.3448e-04	0.905	4.3716e-06
8.9	8.3201	0.876	1.1717e-10	1.1404e-04	0.903	3.0939e-06
9.0	8.4201	0.876	7.1537e-11	9.6361e-05	0.900	2.1788e-06
9.1	8.5201	0.876	4.3237e-11	8.1121e-05	0.898	1.5261e-06
9.2	8.6201	0.876	2.5861e-11	6.8032e-05	0.896	1.0626e-06
9.3	8.7201	0.876	1.5302e-11	5.6835e-05	0.894	7.3532e-07
9.4	8.8201	0.876	8.9537e-12	4.7292e-05	0.893	5.0545e-07
9.5	8.9201	0.876	5.1791e-12	3.9192e-05	0.891	3.4502e-07
9.6	9.0201	0.875	2.9605e-12	3.2344e-05	0.890	2.3378e-07
9.7	9.1201	0.875	1.6717e-12	2.6580e-05	0.888	1.5720e-07

Code origine : M=7, R=1/2
 Generateurs : 247 371
 Distance libre du code origine : $df= 10$

Code perfore : M=7, R=7/8
 Patron de perforation : 1010100
 1101011

SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
4	26	258
5	264	3652
6	2732	52824
7	30389	746564
8	328927	9825110
9	3571607	125472545
10	38799203	1567656165
11	421331658	19248335327
12	4576082902	233195414828
13	49699647357	2794879906442

MEMOIRE : 7
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/2
 GENERATEURS : 247 371

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 7/8
 PATRON DE PERFORATION : 1010100
 1101011

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
4.4	3.8201	0.999	3.6914e-03	1.4067e-02	1.259	---
4.5	3.9201	0.992	2.2016e-03	1.3181e-02	1.244	---
4.6	4.0201	0.985	1.3305e-03	1.2334e-02	1.229	---
4.7	4.1201	0.978	8.1617e-04	1.1526e-02	1.214	---
4.8	4.2201	0.971	5.0860e-04	1.0755e-02	1.200	---
4.9	4.3201	0.965	3.2199e-04	1.0022e-02	1.186	---
5.0	4.4201	0.959	2.0697e-04	9.3253e-03	1.172	---
5.1	4.5201	0.954	1.3490e-04	8.6638e-03	1.159	---
5.2	4.6201	0.948	8.8997e-05	8.0369e-03	1.147	---
5.3	4.7201	0.943	5.9319e-05	7.4436e-03	1.135	---
5.4	4.8201	0.939	3.9863e-05	6.8831e-03	1.123	---
5.5	4.9201	0.934	2.6957e-05	6.3543e-03	1.112	---
5.6	5.0201	0.930	1.8310e-05	5.8563e-03	1.100	---
5.7	5.1201	0.926	1.2473e-05	5.3881e-03	1.090	---
5.8	5.2201	0.922	8.5083e-06	4.9486e-03	1.080	---
5.9	5.3201	0.918	5.8051e-06	4.5368e-03	1.070	---
6.0	5.4201	0.915	3.9572e-06	4.1516e-03	1.060	---
6.1	5.5201	0.912	2.6926e-06	3.7920e-03	1.051	---
6.2	5.6201	0.909	1.8272e-06	3.4569e-03	1.042	---
6.3	5.7201	0.906	1.2358e-06	3.1453e-03	1.033	---
6.4	5.8201	0.903	8.3239e-07	2.8559e-03	1.025	---
6.5	5.9201	0.901	5.5808e-07	2.5879e-03	1.017	---
6.6	6.0201	0.899	3.7223e-07	2.3401e-03	1.009	---
6.7	6.1201	0.896	2.4686e-07	2.1115e-03	1.002	---
6.8	6.2201	0.894	1.6271e-07	1.9010e-03	0.995	3.2294e-03
6.9	6.3201	0.893	1.0654e-07	1.7077e-03	0.988	2.0483e-03
7.0	6.4201	0.891	6.9270e-08	1.5305e-03	0.982	1.3163e-03
7.1	6.5201	0.889	4.4706e-08	1.3684e-03	0.975	8.5805e-04
7.2	6.6201	0.888	2.8629e-08	1.2206e-03	0.969	5.6766e-04
7.3	6.7201	0.887	1.8184e-08	1.0861e-03	0.964	3.8109e-04
7.4	6.8201	0.885	1.1452e-08	9.6395e-04	0.958	2.5943e-04
7.5	6.9201	0.884	7.1480e-09	8.5334e-04	0.953	1.7887e-04
7.6	7.0201	0.883	4.4206e-09	7.5344e-04	0.948	1.2470e-04
7.7	7.1201	0.882	2.7078e-09	6.6344e-04	0.943	8.7762e-05
7.8	7.2201	0.882	1.6422e-09	5.8258e-04	0.939	6.2235e-05
7.9	7.3201	0.881	9.8582e-10	5.1014e-04	0.935	4.4392e-05
8.0	7.4201	0.880	5.8553e-10	4.4542e-04	0.930	3.1798e-05
8.1	7.5201	0.879	3.4399e-10	3.8776e-04	0.927	2.2839e-05
8.2	7.6201	0.879	1.9981e-10	3.3654e-04	0.923	1.6428e-05
8.3	7.7201	0.878	1.1472e-10	2.9119e-04	0.920	1.1819e-05
8.4	7.8201	0.878	6.5086e-11	2.5116e-04	0.916	8.4964e-06
8.5	7.9201	0.878	3.6472e-11	2.1593e-04	0.913	6.0976e-06
8.6	8.0201	0.877	2.0181e-11	1.8503e-04	0.910	4.3651e-06
8.7	8.1201	0.877	1.1022e-11	1.5801e-04	0.908	3.1149e-06
8.8	8.2201	0.877	5.9395e-12	1.3448e-04	0.905	2.2143e-06
8.9	8.3201	0.876	3.1571e-12	1.1404e-04	0.903	1.5671e-06
9.0	8.4201	0.876	1.6546e-12	9.6361e-05	0.900	1.1036e-06
9.1	8.5201	0.876	8.5470e-13	8.1121e-05	0.898	7.7305e-07
9.2	8.6201	0.876	4.3500e-13	6.8032e-05	0.896	5.3833e-07
9.3	8.7201	0.876	2.1805e-13	5.6835e-05	0.894	3.7253e-07
9.4	8.8201	0.876	1.0760e-13	4.7292e-05	0.893	2.5609e-07
9.5	8.9201	0.876	5.2259e-14	3.9192e-05	0.891	1.7482e-07
9.6	9.0201	0.875	2.4967e-14	3.2344e-05	0.890	1.1846e-07
9.7	9.1201	0.875	1.1730e-14	2.6580e-05	0.888	7.9659e-08

Code origine : M=8, R=1/2
 Generateurs : 561 753
 Distance libre du code origine : df= 12

Code perfore : M=8, R=7/8
 Patron de perforation : 1101011
 1010100

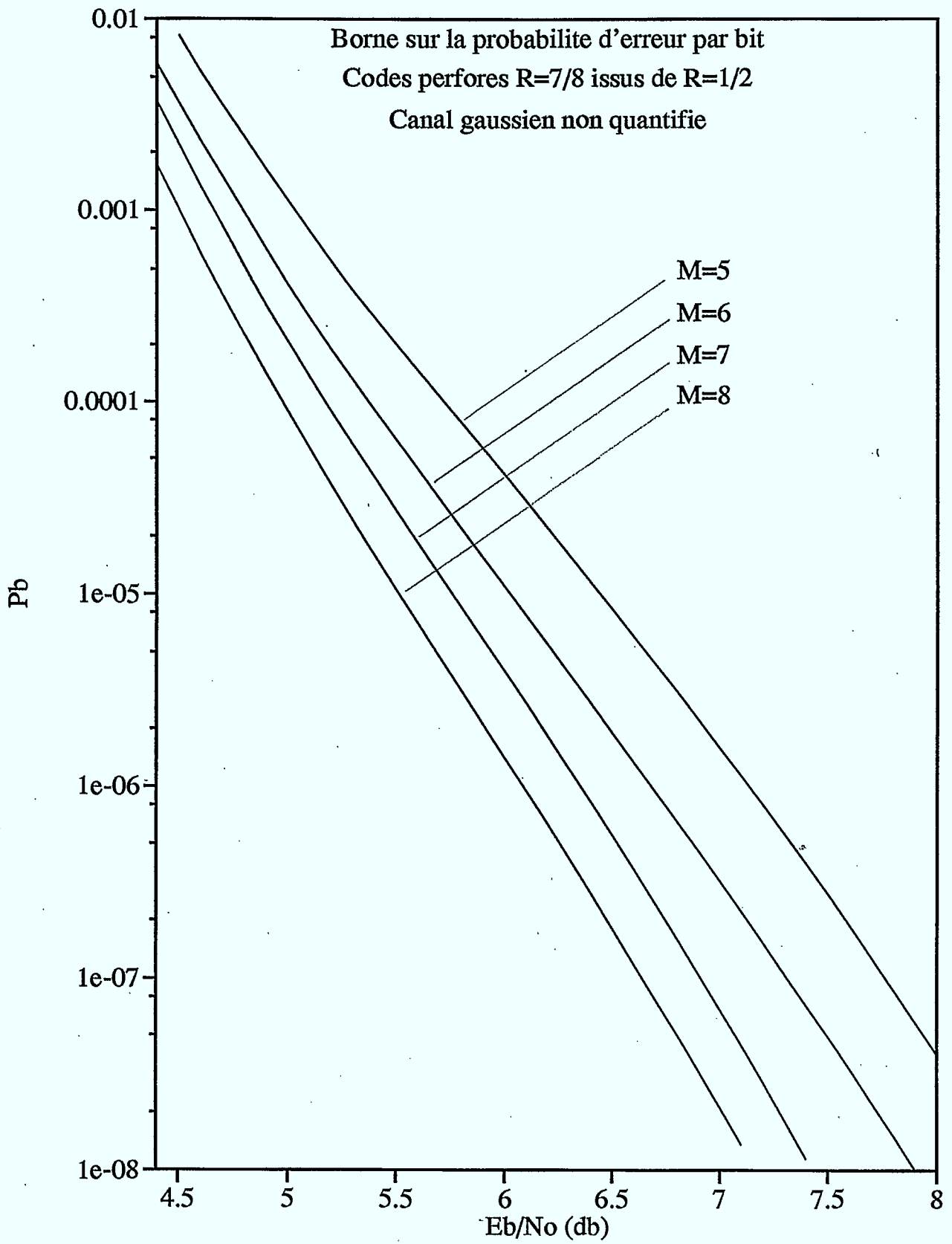
SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

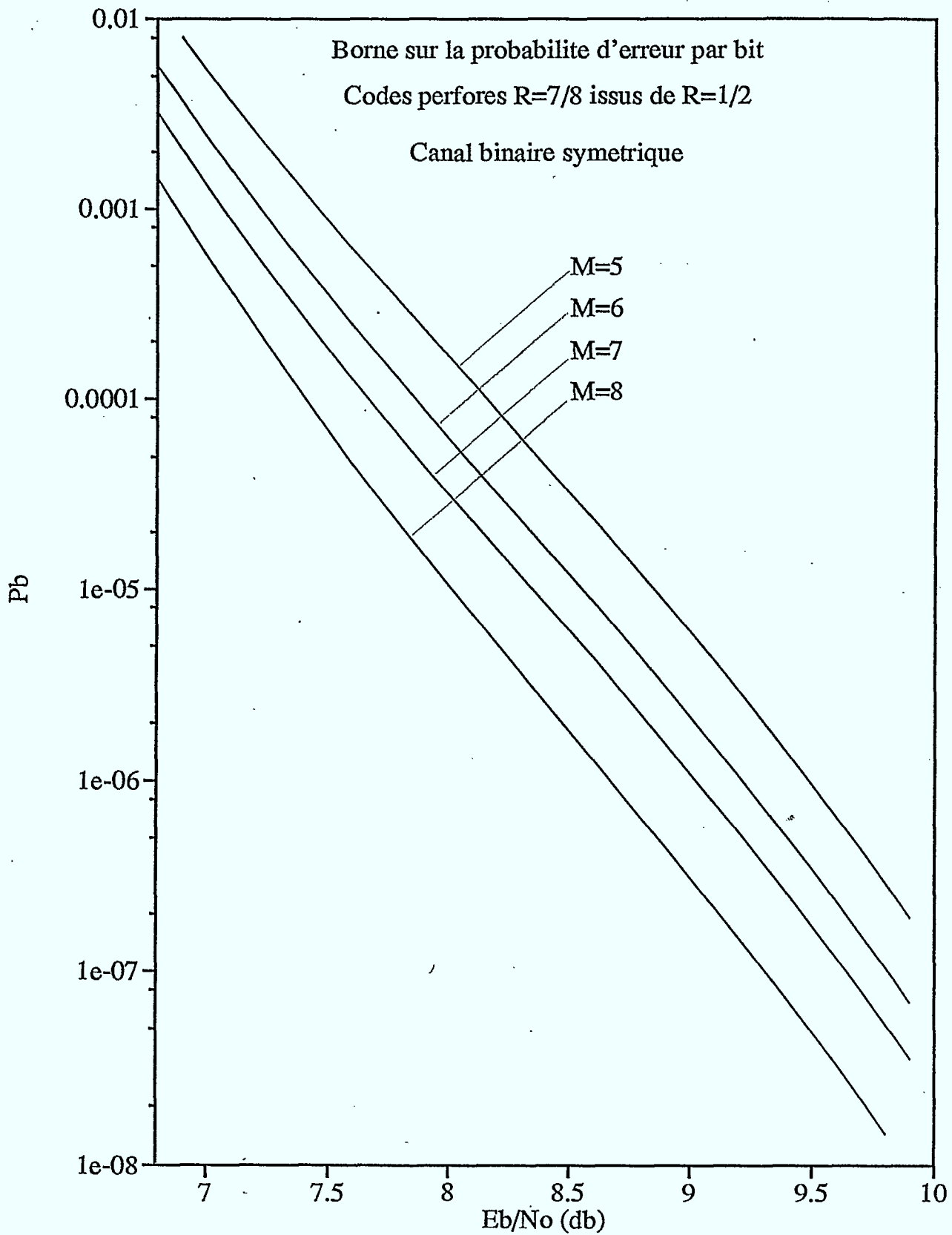
Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
4	6	70
5	132	1842
6	1289	24096
7	13986	337514
8	154839	4548454
9	1694634	58634237
10	18532566	738611595
11	202840421	9148958248
12	2220474919	111799479417
13	24305050429	1351261813545

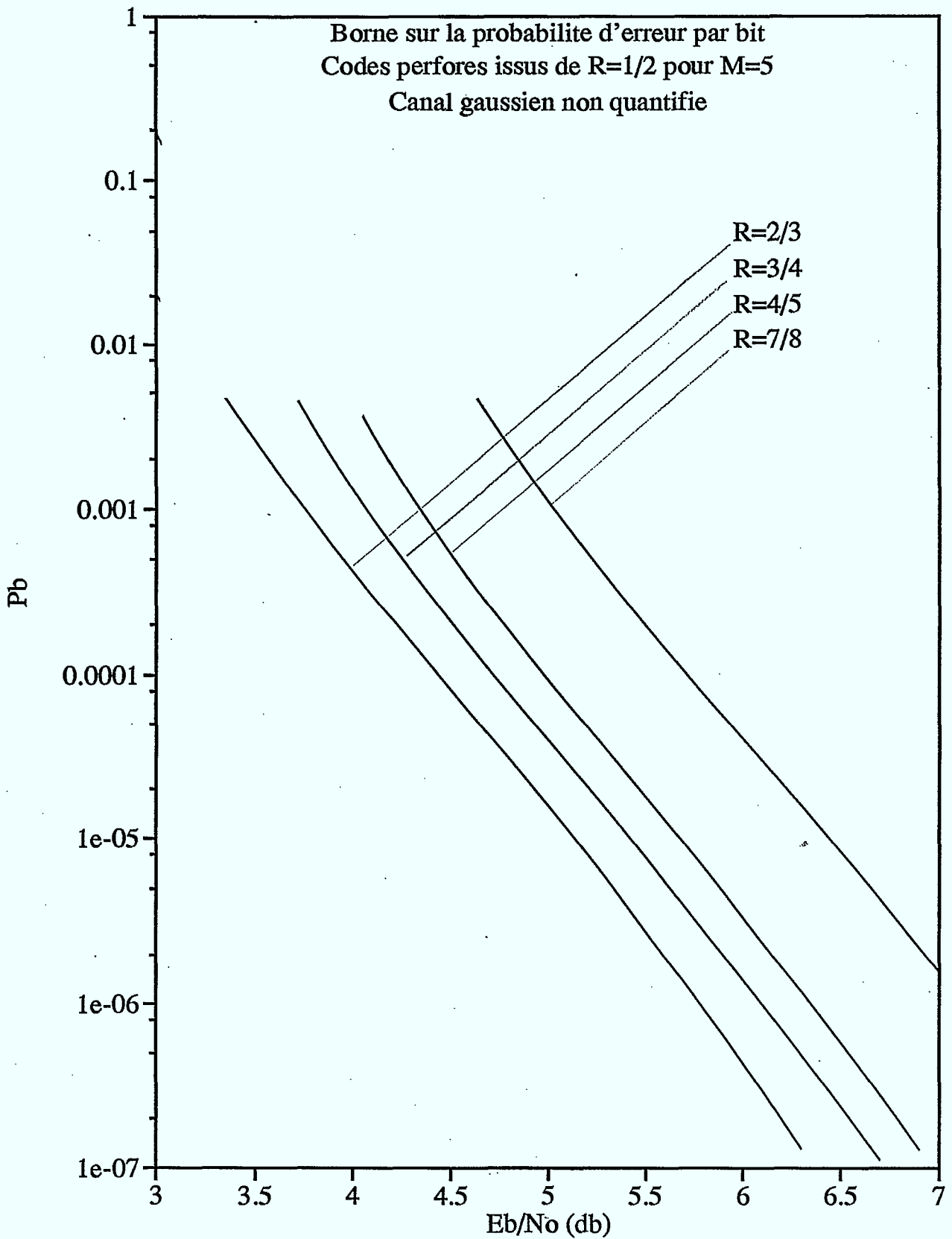
MEMOIRE : 8
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/2
 GENERATEURS : 561 753

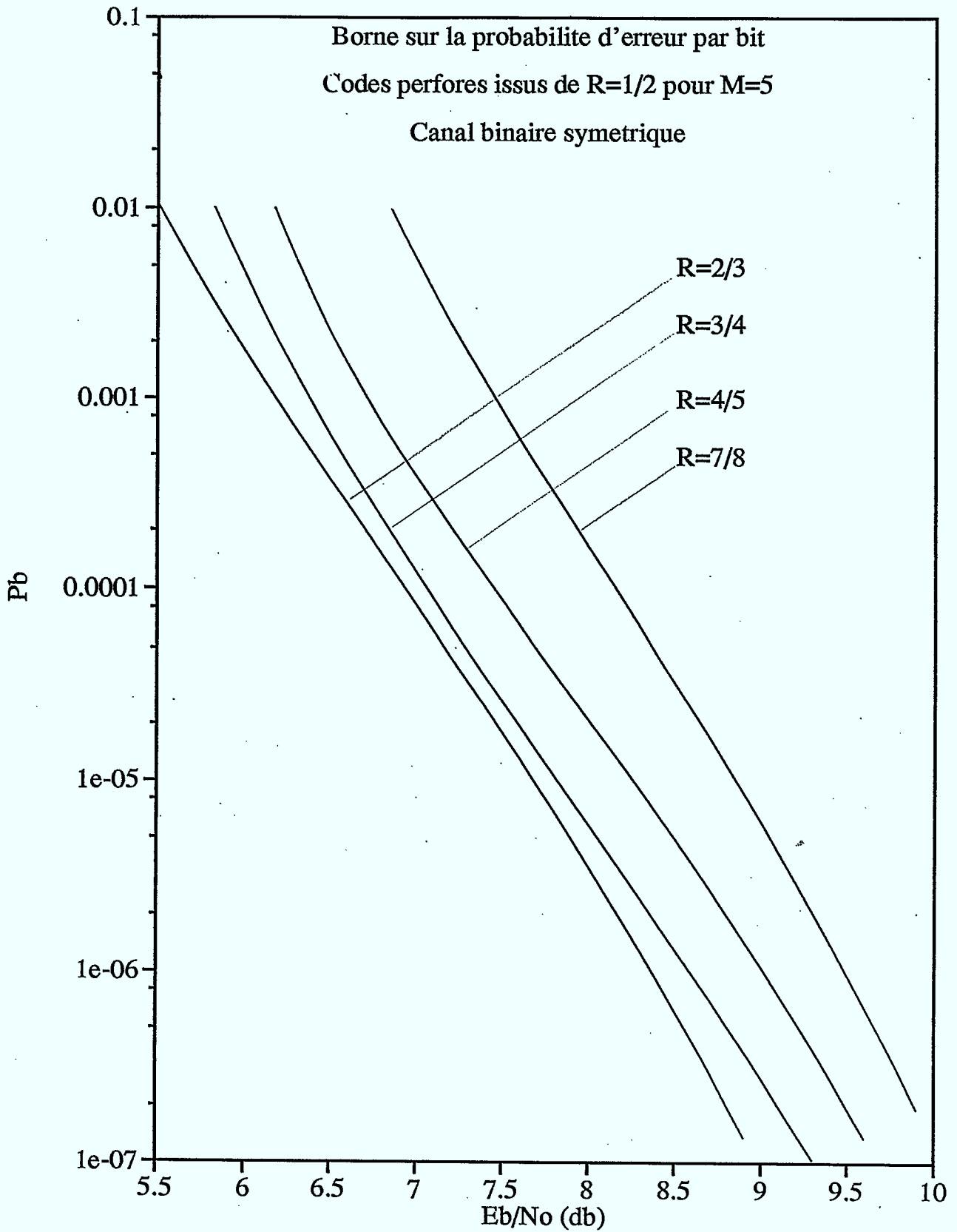
TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 7/8
 PATRON DE PERFORATION : 1101011
 1010100

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
4.4	3.8201	0.999	1.7030e-03	1.4067e-02	1.259	---
4.5	3.9201	0.992	1.0065e-03	1.3181e-02	1.244	---
4.6	4.0201	0.985	6.0185e-04	1.2334e-02	1.229	---
4.7	4.1201	0.978	3.6469e-04	1.1526e-02	1.214	---
4.8	4.2201	0.971	2.2414e-04	1.0755e-02	1.200	---
4.9	4.3201	0.965	1.3976e-04	1.0022e-02	1.186	---
5.0	4.4201	0.959	8.8378e-05	9.3253e-03	1.172	---
5.1	4.5201	0.954	5.6615e-05	8.6638e-03	1.159	---
5.2	4.6201	0.948	3.6687e-05	8.0369e-03	1.147	---
5.3	4.7201	0.943	2.4007e-05	7.4436e-03	1.135	---
5.4	4.8201	0.939	1.5834e-05	6.8831e-03	1.123	---
5.5	4.9201	0.934	1.0509e-05	6.3543e-03	1.112	---
5.6	5.0201	0.930	7.0056e-06	5.8563e-03	1.100	---
5.7	5.1201	0.926	4.6843e-06	5.3881e-03	1.090	---
5.8	5.2201	0.922	3.1373e-06	4.9486e-03	1.080	---
5.9	5.3201	0.918	2.1023e-06	4.5368e-03	1.070	---
6.0	5.4201	0.915	1.4080e-06	4.1516e-03	1.060	---
6.1	5.5201	0.912	9.4163e-07	3.7920e-03	1.051	---
6.2	5.6201	0.909	6.2838e-07	3.4569e-03	1.042	---
6.3	5.7201	0.906	4.1813e-07	3.1453e-03	1.033	---
6.4	5.8201	0.903	2.7726e-07	2.8559e-03	1.025	---
6.5	5.9201	0.901	1.8310e-07	2.5879e-03	1.017	---
6.6	6.0201	0.899	1.2037e-07	2.3401e-03	1.009	---
6.7	6.1201	0.896	7.8731e-08	2.1115e-03	1.002	---
6.8	6.2201	0.894	5.1214e-08	1.9010e-03	0.995	1.4365e-03
6.9	6.3201	0.893	3.3118e-08	1.7077e-03	0.988	8.9578e-04
7.0	6.4201	0.891	2.1281e-08	1.5305e-03	0.982	5.6445e-04
7.1	6.5201	0.889	1.3583e-08	1.3684e-03	0.975	3.5984e-04
7.2	6.6201	0.888	8.6079e-09	1.2206e-03	0.969	2.3228e-04
7.3	6.7201	0.887	5.4144e-09	1.0861e-03	0.964	1.5188e-04
7.4	6.8201	0.885	3.3790e-09	9.6395e-04	0.958	1.0057e-04
7.5	6.9201	0.884	2.0914e-09	8.5334e-04	0.953	6.7407e-05
7.6	7.0201	0.883	1.2834e-09	7.5344e-04	0.948	4.5684e-05
7.7	7.1201	0.882	7.8050e-10	6.6344e-04	0.943	3.1271e-05
7.8	7.2201	0.882	4.7026e-10	5.8258e-04	0.939	2.1588e-05
7.9	7.3201	0.881	2.8059e-10	5.1014e-04	0.935	1.5011e-05
8.0	7.4201	0.880	1.6575e-10	4.4542e-04	0.930	1.0497e-05
8.1	7.5201	0.879	9.6888e-11	3.8776e-04	0.927	7.3734e-06
8.2	7.6201	0.879	5.6027e-11	3.3654e-04	0.923	5.1956e-06
8.3	7.7201	0.878	3.2038e-11	2.9119e-04	0.920	3.6683e-06
8.4	7.8201	0.878	1.8110e-11	2.5116e-04	0.916	2.5925e-06
8.5	7.9201	0.878	1.0115e-11	2.1593e-04	0.913	1.8321e-06
8.6	8.0201	0.877	5.5805e-12	1.8503e-04	0.910	1.2937e-06
8.7	8.1201	0.877	3.0399e-12	1.5801e-04	0.908	9.1190e-07
8.8	8.2201	0.877	1.6345e-12	1.3448e-04	0.905	6.4123e-07
8.9	8.3201	0.876	8.6703e-13	1.1404e-04	0.903	4.4951e-07
9.0	8.4201	0.876	4.5360e-13	9.6361e-05	0.900	3.1393e-07
9.1	8.5201	0.876	2.3395e-13	8.1121e-05	0.898	2.1830e-07
9.2	8.6201	0.876	1.1891e-13	6.8032e-05	0.896	1.5106e-07
9.3	8.7201	0.876	5.9535e-14	5.6835e-05	0.894	1.0397e-07
9.4	8.8201	0.876	2.9351e-14	4.7292e-05	0.893	7.1138e-08
9.5	8.9201	0.876	1.4242e-14	3.9192e-05	0.891	4.8368e-08
9.6	9.0201	0.875	6.7994e-15	3.2344e-05	0.890	3.2665e-08
9.7	9.1201	0.875	3.1923e-15	2.6580e-05	0.888	2.1903e-08

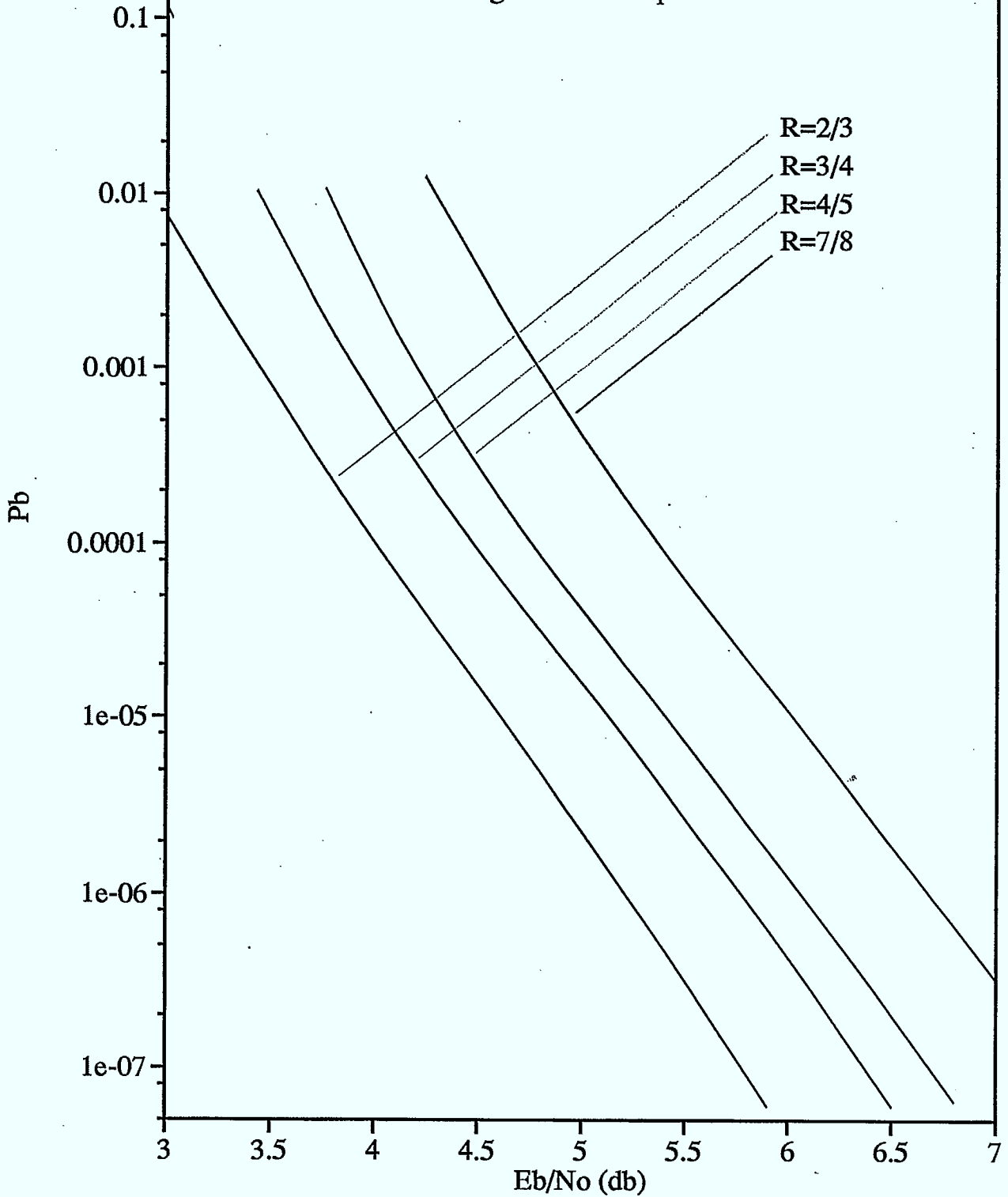




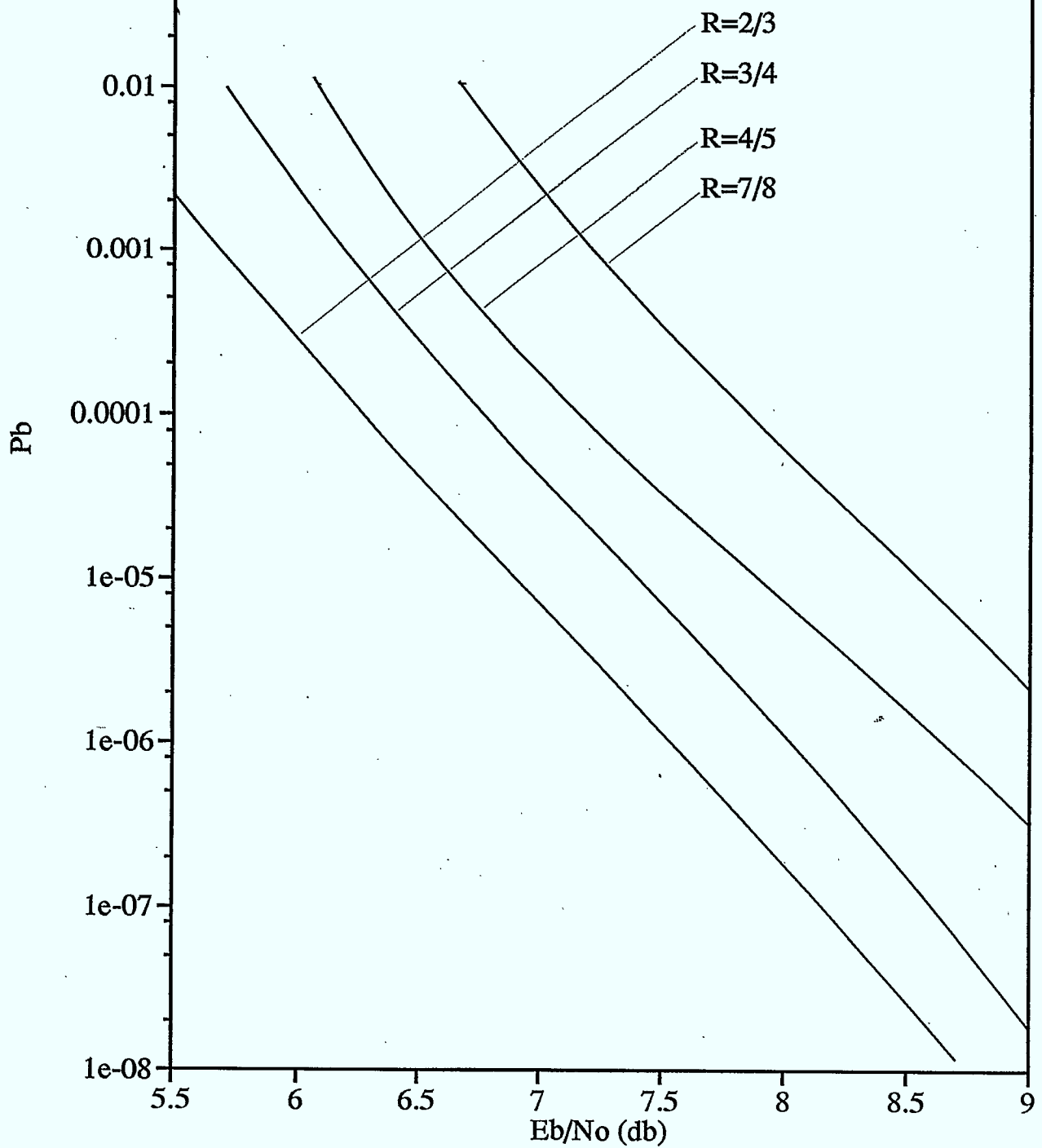




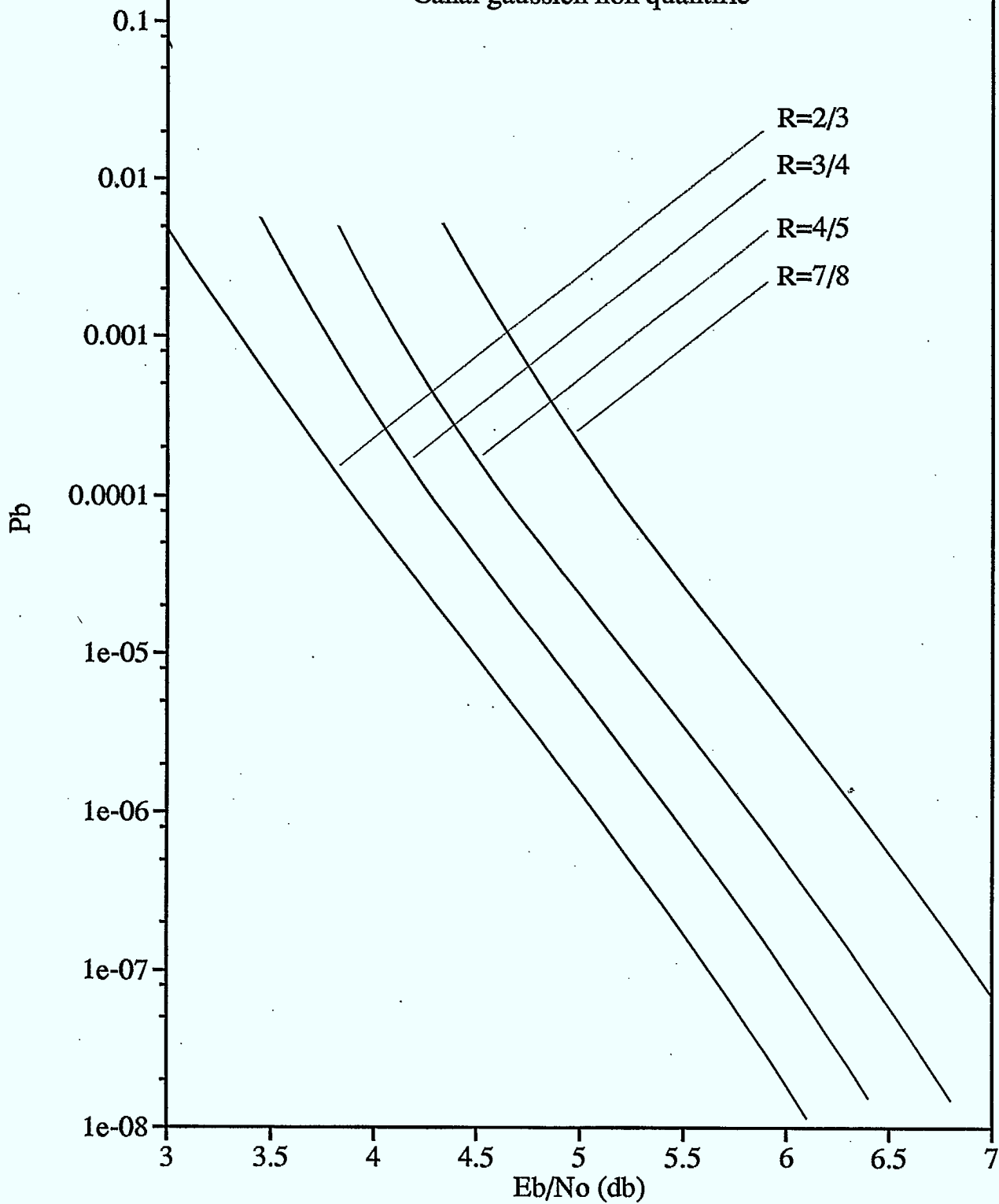
Borne sur la probabilité d'erreur par bit
Codes perfores issus de $R=1/2$ pour $M=6$
Canal gaussien non quantifie

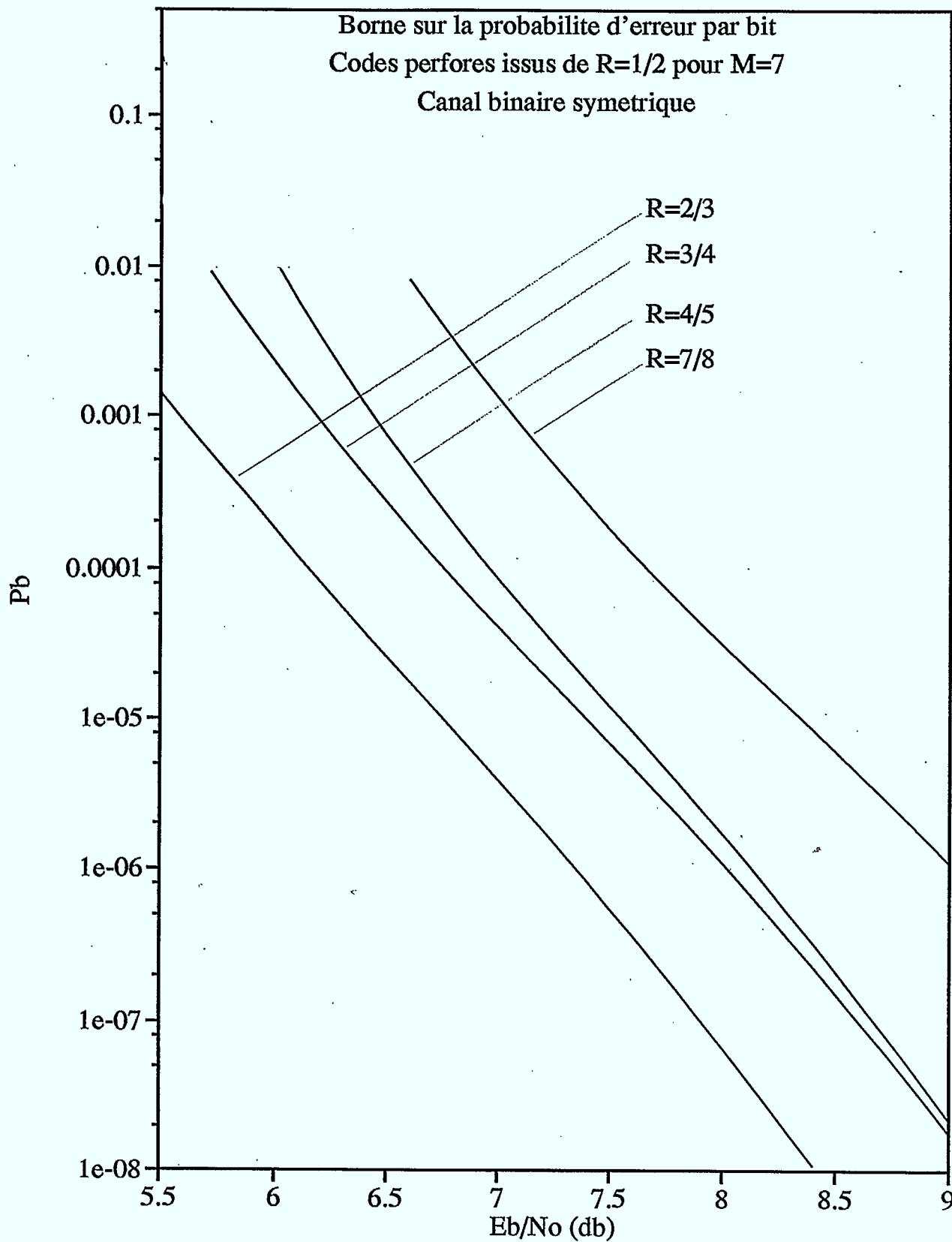


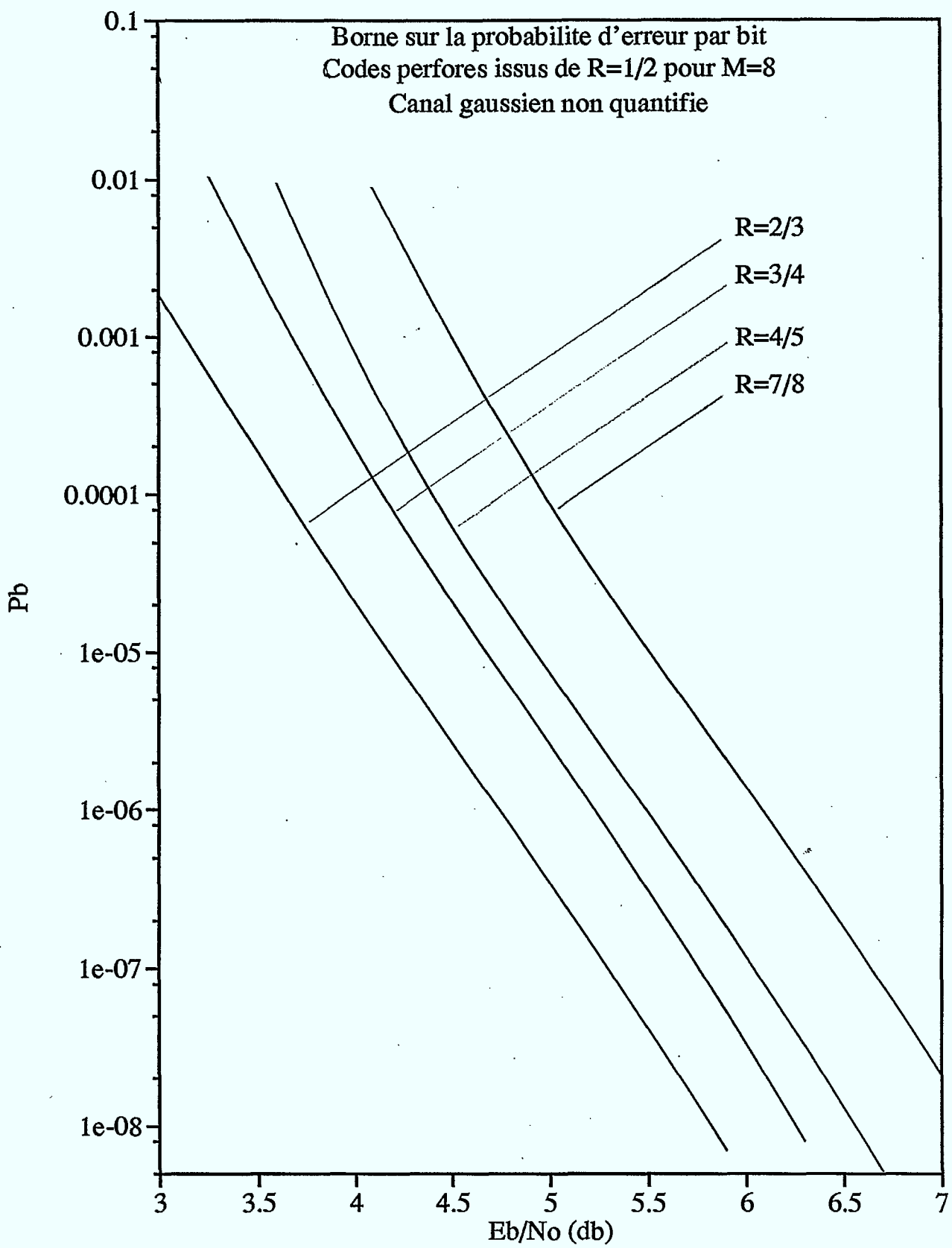
Borne sur la probabilité d'erreur par bit
Codes perfores issus de $R=1/2$ pour $M=6$
Canal binaire symetrique



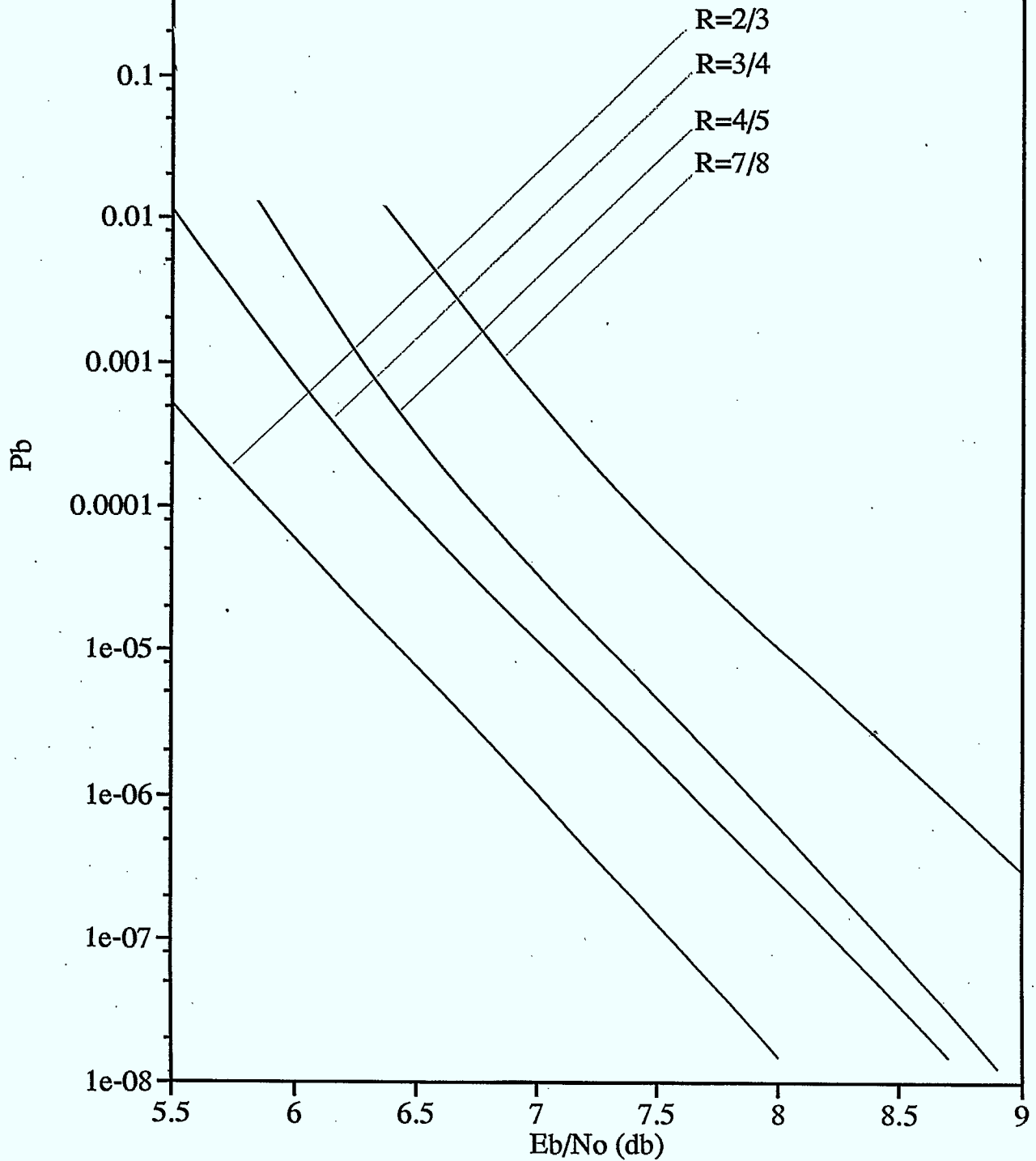
Borne sur la probabilité d'erreur par bit
Codes perfores issus de $R=1/2$ pour $M=7$
Canal gaussien non quantifie







Borne sur la probabilité d'erreur par bit
Codes perfores issus de $R=1/2$ pour $M=8$
Canal binaire symetrique



CODES PERFORÉS DE MÉMOIRE $M = 6$
ET DE TAUX DE CODAGE $R = 1/5, 1/4, 1/3, 1/2$
ISSUS DU MEILLEUR CODE DE MÉMOIRE $M=6$
ET DE TAUX DE CODAGE $R=1/6$

Code origine : M=6, R=1/6 [DAUT (1982)]
 Generateurs : 173 151 135 135 163 137
 Distance libre du code origine : df= 30

Code perfore : M=6, R=1/5
 Patron de perforation : 1
 1
 1
 0
 1
 1

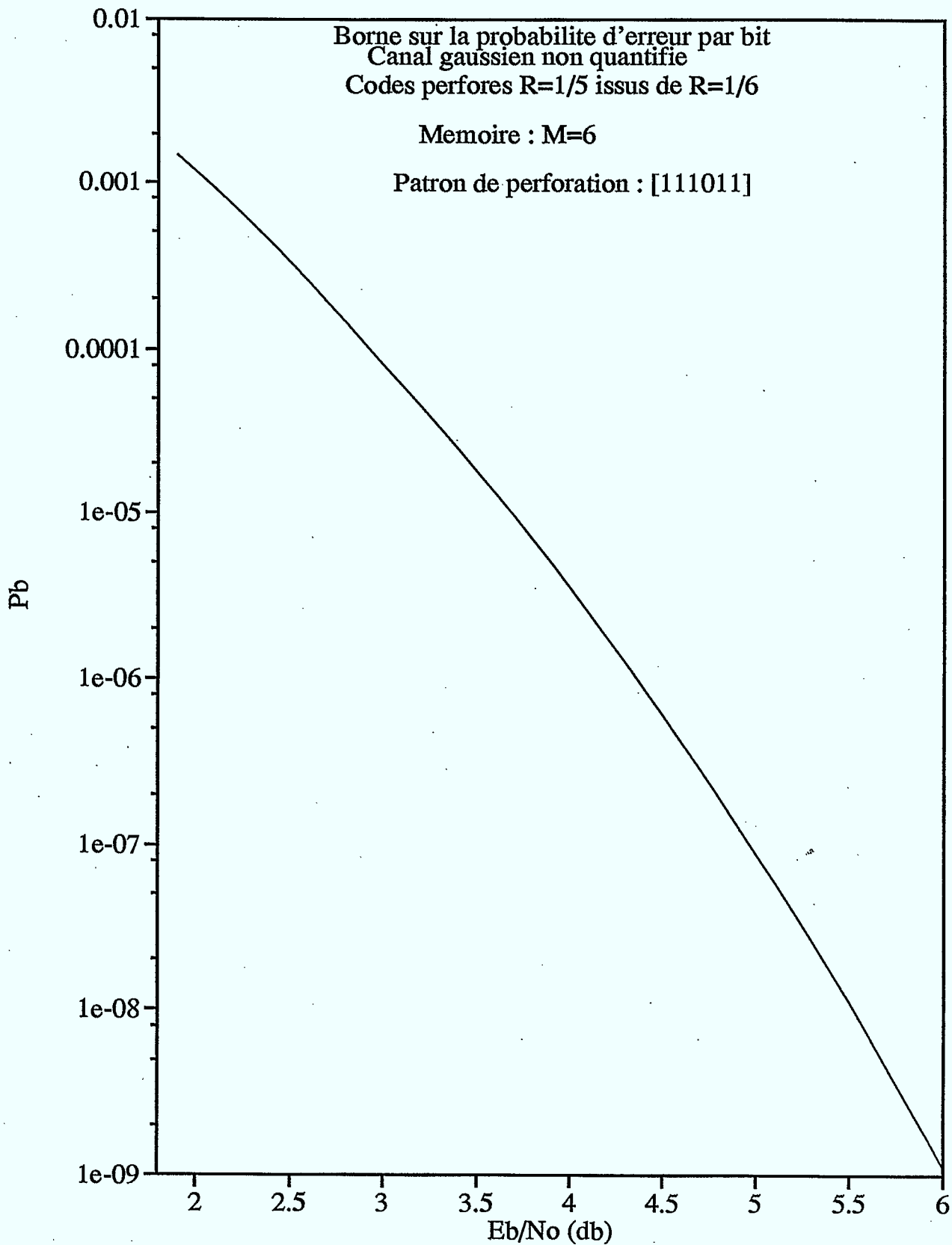
SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

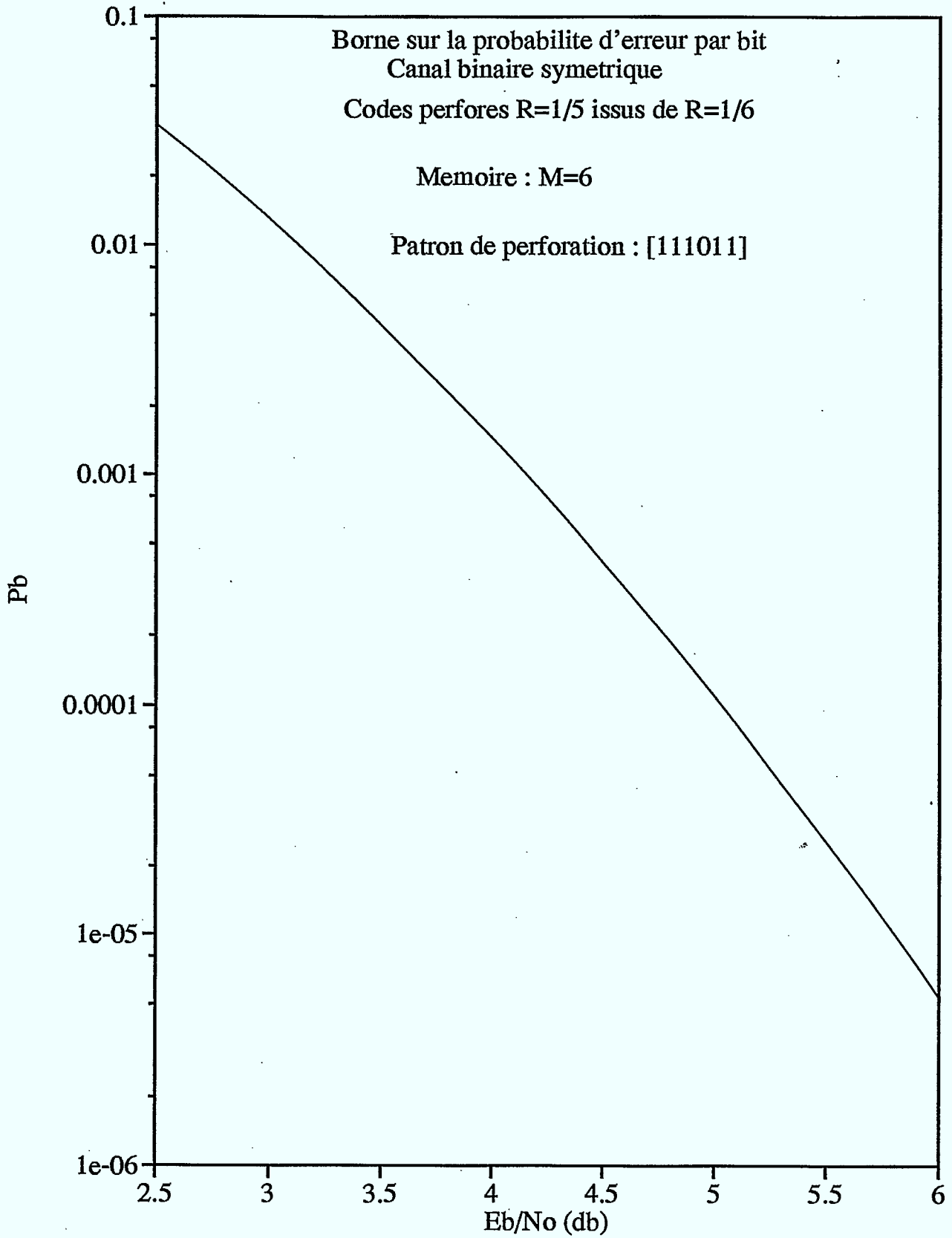
Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
24	1	2
25	0	0
26	2	4
27	0	0
28	4	11
29	0	0
30	7	28
31	0	0
32	8	39
33	0	0
34	20	94
35	0	0
36	23	130
37	0	0
38	50	282
39	0	0
40	83	508

MEMOIRE : M=6
 TAUX DE CODAGE INITIAL : R=1/6
 GENERATEURS : 173 151 135 135 163 137

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : R=1/5
 PATRON DE PERFORATION : [111011]

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
1.8	-5.1897	0.991	1.8992e-03	2.1826e-01	1.208e+00	---
1.9	-5.0897	0.970	1.4947e-03	2.1561e-01	1.173e+00	---
2.0	-4.9897	0.950	1.1715e-03	2.1295e-01	1.143e+00	---
2.1	-4.8897	0.930	9.1434e-04	2.1028e-01	1.111e+00	---
2.2	-4.7897	0.911	7.1063e-04	2.0760e-01	1.069e+00	---
2.3	-4.6897	0.892	5.4997e-04	2.0491e-01	1.033e+00	---
2.4	-4.5897	0.873	4.2380e-04	2.0221e-01	1.004e+00	---
2.5	-4.4897	0.855	3.2517e-04	1.9950e-01	9.795e-01	3.3866e-02
2.6	-4.3897	0.838	2.4841e-04	1.9679e-01	9.593e-01	2.8149e-02
2.7	-4.2897	0.820	1.8893e-04	1.9406e-01	9.427e-01	2.3318e-02
2.8	-4.1897	0.804	1.4305e-04	1.9132e-01	9.207e-01	1.9249e-02
2.9	-4.0897	0.787	1.0783e-04	1.8858e-01	8.986e-01	1.5834e-02
3.0	-3.9897	0.771	8.0912e-05	1.8583e-01	8.806e-01	1.2980e-02
3.1	-3.8897	0.756	6.0434e-05	1.8307e-01	8.572e-01	1.0602e-02
3.2	-3.7897	0.740	4.4929e-05	1.8031e-01	8.340e-01	8.6282e-03
3.3	-3.6897	0.725	3.3245e-05	1.7754e-01	8.154e-01	6.9964e-03
3.4	-3.5897	0.711	2.4482e-05	1.7477e-01	7.889e-01	5.6524e-03
3.5	-3.4897	0.697	1.7942e-05	1.7200e-01	7.656e-01	4.5496e-03
3.6	-3.3897	0.683	1.3084e-05	1.6922e-01	7.447e-01	3.6482e-03
3.7	-3.2897	0.669	9.4940e-06	1.6644e-01	7.162e-01	2.9143e-03
3.8	-3.1897	0.656	6.8540e-06	1.6365e-01	6.940e-01	2.3192e-03
3.9	-3.0897	0.643	4.9224e-06	1.6087e-01	6.664e-01	1.8385e-03
4.0	-2.9897	0.630	3.5166e-06	1.5808e-01	6.402e-01	1.4518e-03
4.1	-2.8897	0.618	2.4987e-06	1.5530e-01	6.155e-01	1.1419e-03
4.2	-2.7897	0.606	1.7657e-06	1.5251e-01	5.853e-01	8.9469e-04
4.3	-2.6897	0.594	1.2407e-06	1.4973e-01	5.625e-01	6.9819e-04
4.4	-2.5897	0.583	8.6680e-07	1.4695e-01	5.286e-01	5.4266e-04
4.5	-2.4897	0.571	6.0200e-07	1.4417e-01	5.034e-01	4.2008e-04
4.6	-2.3897	0.560	4.1558e-07	1.4140e-01	4.848e-01	3.2387e-04
4.7	-2.2897	0.550	2.8511e-07	1.3863e-01	4.713e-01	2.4867e-04
4.8	-2.1897	0.539	1.9436e-07	1.3587e-01	4.540e-01	1.9015e-04
4.9	-2.0897	0.529	1.3163e-07	1.3311e-01	4.398e-01	1.4479e-04
5.0	-1.9897	0.519	8.8549e-08	1.3036e-01	4.218e-01	1.0979e-04
5.1	-1.8897	0.509	5.9159e-08	1.2762e-01	4.074e-01	8.2896e-05
5.2	-1.7897	0.500	3.9245e-08	1.2489e-01	3.882e-01	6.2322e-05
5.3	-1.6897	0.491	2.5845e-08	1.2217e-01	3.730e-01	4.6651e-05
5.4	-1.5897	0.482	1.6893e-08	1.1946e-01	3.533e-01	3.4768e-05
5.5	-1.4897	0.473	1.0957e-08	1.1676e-01	3.358e-01	2.5797e-05
5.6	-1.3897	0.464	7.0513e-09	1.1408e-01	3.174e-01	1.9054e-05
5.7	-1.2897	0.456	4.5008e-09	1.1141e-01	2.975e-01	1.4010e-05
5.8	-1.1897	0.448	2.8488e-09	1.0875e-01	2.807e-01	1.0253e-05
5.9	-1.0897	0.440	1.7878e-09	1.0611e-01	2.587e-01	7.4685e-06
6.0	-0.9897	0.432	1.1120e-09	1.0349e-01	2.443e-01	5.4141e-06





Code origine : M=6, R=1/6 [DAUT (1982)]
 Generateurs : 173 151 135 135 163 137
 Distance libre du code origine : df= 30

Code perfore : M=6, R=1/5
 Patron de perforation : 1
 1
 0
 1
 1
 1

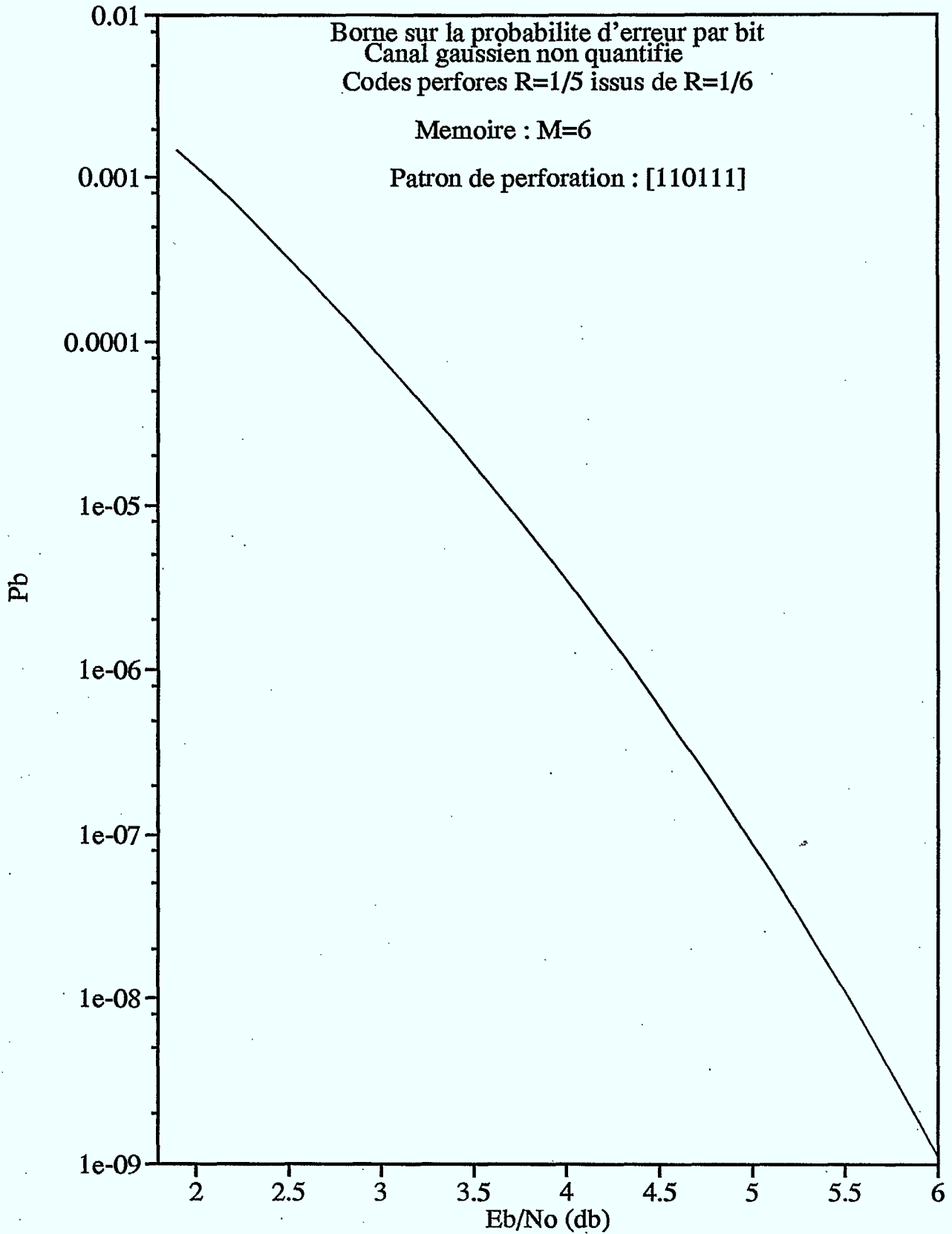
SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

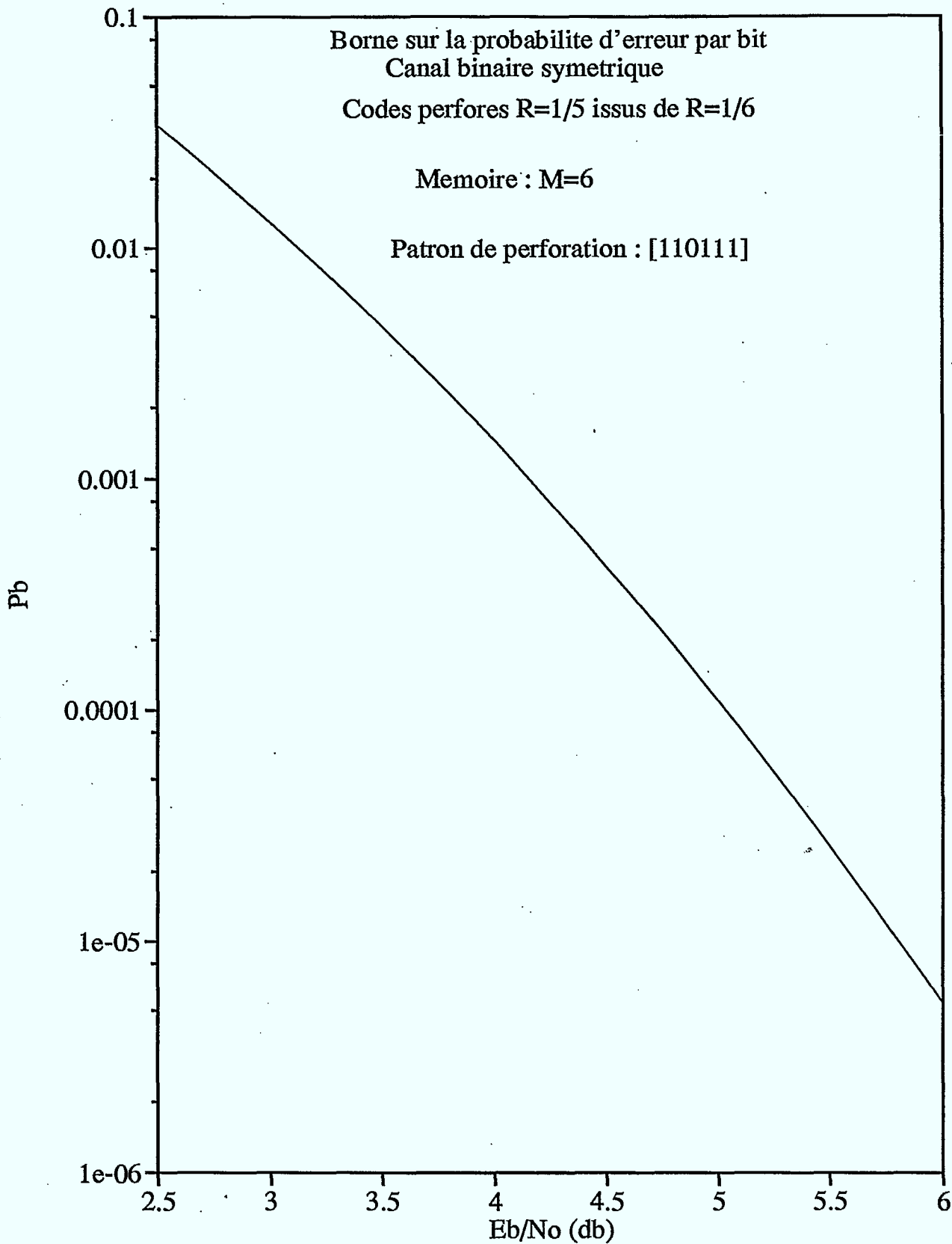
Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
24	1	2
25	0	0
26	2	4
27	0	0
28	4	11
29	0	0
30	7	28
31	0	0
32	8	39
33	0	0
34	20	94
35	0	0
36	23	130
37	0	0
38	50	282
39	0	0
40	83	508

MEMOIRE : M=6
 TAUX DE CODAGE INITIAL : R=1/6
 GENERATEURS : 173 151 135 135 163 137

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : R=1/5
 PATRON DE PERFORATION : [110111]

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
1.8	-5.1897	0.991	1.8992e-03	2.1826e-01	1.208e+00	---
1.9	-5.0897	0.970	1.4947e-03	2.1561e-01	1.173e+00	---
2.0	-4.9897	0.950	1.1715e-03	2.1295e-01	1.143e+00	---
2.1	-4.8897	0.930	9.1434e-04	2.1028e-01	1.111e+00	---
2.2	-4.7897	0.911	7.1063e-04	2.0760e-01	1.069e+00	---
2.3	-4.6897	0.892	5.4997e-04	2.0491e-01	1.033e+00	---
2.4	-4.5897	0.873	4.2380e-04	2.0221e-01	1.004e+00	---
2.5	-4.4897	0.855	3.2517e-04	1.9950e-01	9.795e-01	3.3866e-02
2.6	-4.3897	0.838	2.4841e-04	1.9679e-01	9.593e-01	2.8149e-02
2.7	-4.2897	0.820	1.8893e-04	1.9406e-01	9.427e-01	2.3318e-02
2.8	-4.1897	0.804	1.4305e-04	1.9132e-01	9.207e-01	1.9249e-02
2.9	-4.0897	0.787	1.0783e-04	1.8858e-01	8.986e-01	1.5834e-02
3.0	-3.9897	0.771	8.0912e-05	1.8583e-01	8.806e-01	1.2980e-02
3.1	-3.8897	0.756	6.0434e-05	1.8307e-01	8.572e-01	1.0602e-02
3.2	-3.7897	0.740	4.4929e-05	1.8031e-01	8.340e-01	8.6282e-03
3.3	-3.6897	0.725	3.3245e-05	1.7754e-01	8.154e-01	6.9964e-03
3.4	-3.5897	0.711	2.4482e-05	1.7477e-01	7.889e-01	5.6524e-03
3.5	-3.4897	0.697	1.7942e-05	1.7200e-01	7.656e-01	4.5496e-03
3.6	-3.3897	0.683	1.3084e-05	1.6922e-01	7.447e-01	3.6482e-03
3.7	-3.2897	0.669	9.4940e-06	1.6644e-01	7.162e-01	2.9143e-03
3.8	-3.1897	0.656	6.8540e-06	1.6365e-01	6.940e-01	2.3192e-03
3.9	-3.0897	0.643	4.9224e-06	1.6087e-01	6.664e-01	1.8385e-03
4.0	-2.9897	0.630	3.5166e-06	1.5808e-01	6.402e-01	1.4518e-03
4.1	-2.8897	0.618	2.4987e-06	1.5530e-01	6.155e-01	1.1419e-03
4.2	-2.7897	0.606	1.7657e-06	1.5251e-01	5.853e-01	8.9469e-04
4.3	-2.6897	0.594	1.2407e-06	1.4973e-01	5.625e-01	6.9819e-04
4.4	-2.5897	0.583	8.6680e-07	1.4695e-01	5.286e-01	5.4266e-04
4.5	-2.4897	0.571	6.0200e-07	1.4417e-01	5.034e-01	4.2008e-04
4.6	-2.3897	0.560	4.1558e-07	1.4140e-01	4.848e-01	3.2387e-04
4.7	-2.2897	0.550	2.8511e-07	1.3863e-01	4.713e-01	2.4867e-04
4.8	-2.1897	0.539	1.9436e-07	1.3587e-01	4.540e-01	1.9015e-04
4.9	-2.0897	0.529	1.3163e-07	1.3311e-01	4.398e-01	1.4479e-04
5.0	-1.9897	0.519	8.8549e-08	1.3036e-01	4.218e-01	1.0979e-04
5.1	-1.8897	0.509	5.9159e-08	1.2762e-01	4.074e-01	8.2896e-05
5.2	-1.7897	0.500	3.9245e-08	1.2489e-01	3.882e-01	6.2322e-05
5.3	-1.6897	0.491	2.5845e-08	1.2217e-01	3.730e-01	4.6651e-05
5.4	-1.5897	0.482	1.6893e-08	1.1946e-01	3.533e-01	3.4768e-05
5.5	-1.4897	0.473	1.0957e-08	1.1676e-01	3.358e-01	2.5797e-05
5.6	-1.3897	0.464	7.0513e-09	1.1408e-01	3.174e-01	1.9054e-05
5.7	-1.2897	0.456	4.5008e-09	1.1141e-01	2.975e-01	1.4010e-05
5.8	-1.1897	0.448	2.8488e-09	1.0875e-01	2.807e-01	1.0253e-05
5.9	-1.0897	0.440	1.7878e-09	1.0611e-01	2.587e-01	7.4685e-06
6.0	-0.9897	0.432	1.1120e-09	1.0349e-01	2.443e-01	5.4141e-06





Code origine : M=6, R=1/6 [DAUT (1982)]
 Generateurs : 173 151 135 135 163 137
 Distance libre du code origine : $d_f = 30$

Code perfore : M=6, R=1/4
 Patron de perforation : 1
 1
 1
 0
 0
 1

Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
20	2	4
21	3	7
22	1	2
23	4	16
24	5	22
25	5	21
26	5	22
27	8	42
28	17	90
29	23	127
30	36	206
31	50	314
32	77	488
33	131	825
34	158	1060
35	234	1712
36	386	2944
37	511	4029
38	729	5984
39	1042	8932
40	1565	13894

Code origine : M=6, R=1/6 [DAUT (1982)]
 Generateurs : 173 151 135 135 163 137
 Distance libre du code origine : $d_f = 30$

Code perfore : M=6, R=1/4
 Patron de perforation : 1
 1
 0
 1
 0
 1

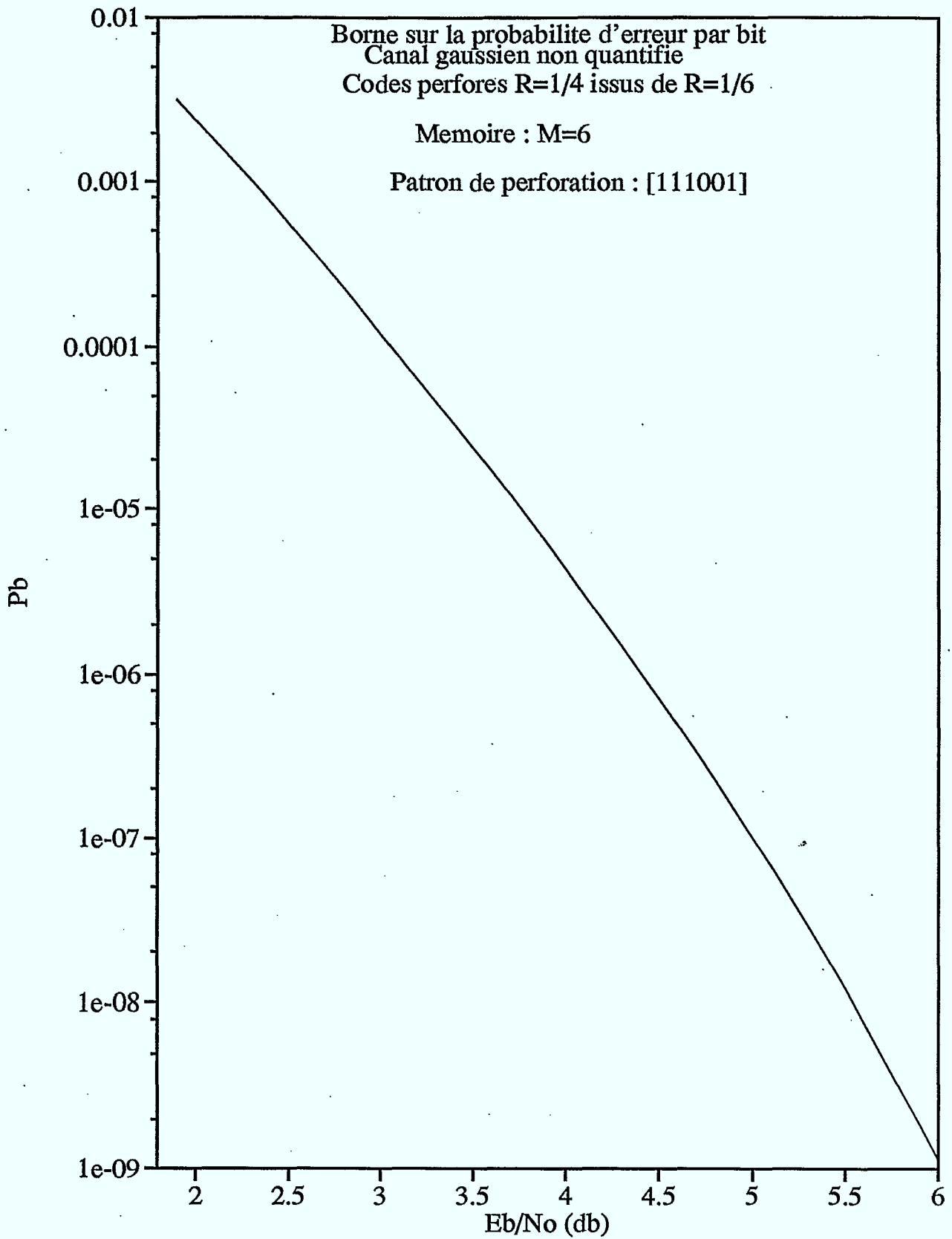
SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

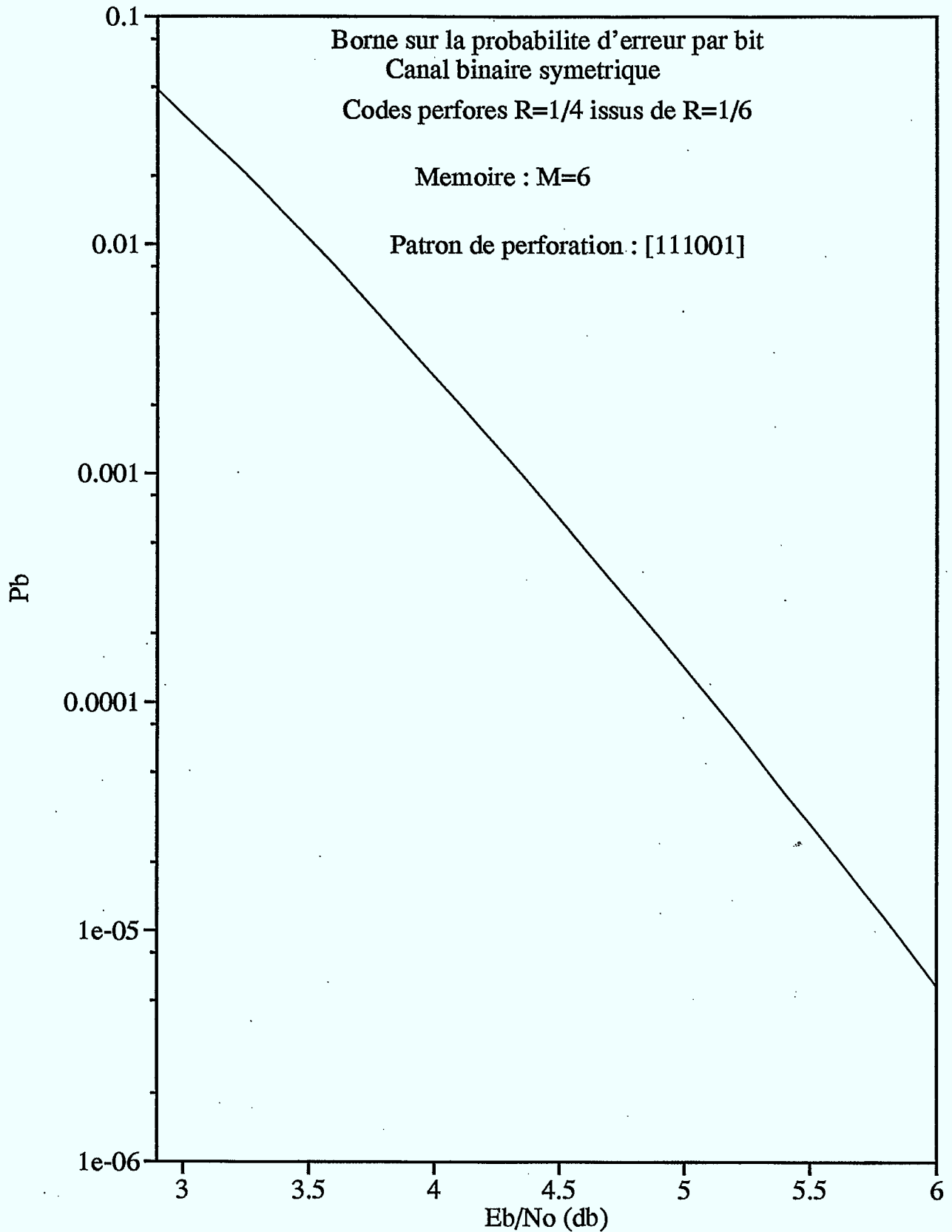
Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
20	2	4
21	3	7
22	1	2
23	4	16
24	5	22
25	5	21
26	5	22
27	8	42
28	17	90
29	23	127
30	36	206
31	50	314
32	77	488
33	131	825
34	158	1060
35	234	1712
36	386	2944
37	511	4029
38	729	5984
39	1042	8932
40	1565	13894

MEMOIRE : M=6
 TAUX DE CODAGE INITIAL : R=1/6
 GENERATEURS : 173 151 135 135 163 137

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : R=1/4
 PATRON DE PERFORATION : [111001]

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
1.9	-4.1206	0.990	3.1885e-03	1.8943e-01	1.408e+00	---
2.0	-4.0206	0.970	2.3982e-03	1.8668e-01	1.375e+00	---
2.1	-3.9206	0.950	1.7982e-03	1.8393e-01	1.322e+00	---
2.2	-3.8206	0.931	1.3443e-03	1.8117e-01	1.280e+00	---
2.3	-3.7206	0.912	1.0020e-03	1.7840e-01	1.242e+00	---
2.4	-3.6206	0.894	7.4473e-04	1.7563e-01	1.188e+00	---
2.5	-3.5206	0.876	5.5198e-04	1.7286e-01	1.145e+00	---
2.6	-3.4206	0.859	4.0801e-04	1.7008e-01	1.097e+00	---
2.7	-3.3206	0.842	3.0079e-04	1.6730e-01	1.045e+00	---
2.8	-3.2206	0.825	2.2115e-04	1.6451e-01	1.004e+00	---
2.9	-3.1206	0.809	1.6217e-04	1.6173e-01	9.720e-01	4.8591e-02
3.0	-3.0206	0.793	1.1859e-04	1.5894e-01	9.477e-01	3.8034e-02
3.1	-2.9206	0.777	8.6492e-05	1.5616e-01	9.208e-01	2.9660e-02
3.2	-2.8206	0.762	6.2902e-05	1.5337e-01	8.926e-01	2.3045e-02
3.3	-2.7206	0.747	4.5612e-05	1.5059e-01	8.677e-01	1.7840e-02
3.4	-2.6206	0.733	3.2973e-05	1.4781e-01	8.359e-01	1.3761e-02
3.5	-2.5206	0.718	2.3760e-05	1.4503e-01	8.121e-01	1.0578e-02
3.6	-2.4206	0.705	1.7063e-05	1.4225e-01	7.772e-01	8.1035e-03
3.7	-2.3206	0.691	1.2210e-05	1.3948e-01	7.516e-01	6.1870e-03
3.8	-2.2206	0.678	8.7037e-06	1.3672e-01	7.160e-01	4.7085e-03
3.9	-2.1206	0.665	6.1794e-06	1.3396e-01	6.891e-01	3.5720e-03
4.0	-2.0206	0.653	4.3684e-06	1.3121e-01	6.520e-01	2.7016e-03
4.1	-1.9206	0.641	3.0742e-06	1.2847e-01	6.242e-01	2.0372e-03
4.2	-1.8206	0.629	2.1530e-06	1.2573e-01	5.854e-01	1.5319e-03
4.3	-1.7206	0.617	1.5003e-06	1.2301e-01	5.540e-01	1.1487e-03
4.4	-1.6206	0.606	1.0398e-06	1.2030e-01	5.163e-01	8.5913e-04
4.5	-1.5206	0.594	7.1670e-07	1.1760e-01	4.904e-01	6.4089e-04
4.6	-1.4206	0.584	4.9108e-07	1.1491e-01	4.726e-01	4.7689e-04
4.7	-1.3206	0.573	3.3442e-07	1.1223e-01	4.526e-01	3.5400e-04
4.8	-1.2206	0.563	2.2628e-07	1.0957e-01	4.355e-01	2.6215e-04
4.9	-1.1206	0.553	1.5209e-07	1.0693e-01	4.141e-01	1.9368e-04
5.0	-1.0206	0.543	1.0151e-07	1.0430e-01	3.939e-01	1.4275e-04
5.1	-0.9206	0.533	6.7266e-08	1.0169e-01	3.756e-01	1.0496e-04
5.2	-0.8206	0.524	4.4241e-08	9.9096e-02	3.525e-01	7.6995e-05
5.3	-0.7206	0.515	2.8873e-08	9.6523e-02	3.310e-01	5.6338e-05
5.4	-0.6206	0.506	1.8693e-08	9.3971e-02	3.112e-01	4.1118e-05
5.5	-0.5206	0.498	1.2002e-08	9.1440e-02	2.873e-01	2.9929e-05
5.6	-0.4206	0.489	7.6410e-09	8.8932e-02	2.636e-01	2.1724e-05
5.7	-0.3206	0.481	4.8218e-09	8.6447e-02	2.455e-01	1.5721e-05
5.8	-0.2206	0.473	3.0153e-09	8.3986e-02	2.345e-01	1.1342e-05
5.9	-0.1206	0.465	1.8681e-09	8.1551e-02	2.215e-01	8.1550e-06
6.0	-0.0206	0.458	1.1463e-09	7.9143e-02	2.086e-01	5.8431e-06





Code origine : M=6, R=1/6 [DAUT (1982)]
 Generateurs : 173 151 135 135 163 137
 Distance libre du code origine : df= 30

Code perfore : M=6, R=1/3
 Patron de perforation : 1
 0
 1
 0
 0
 1

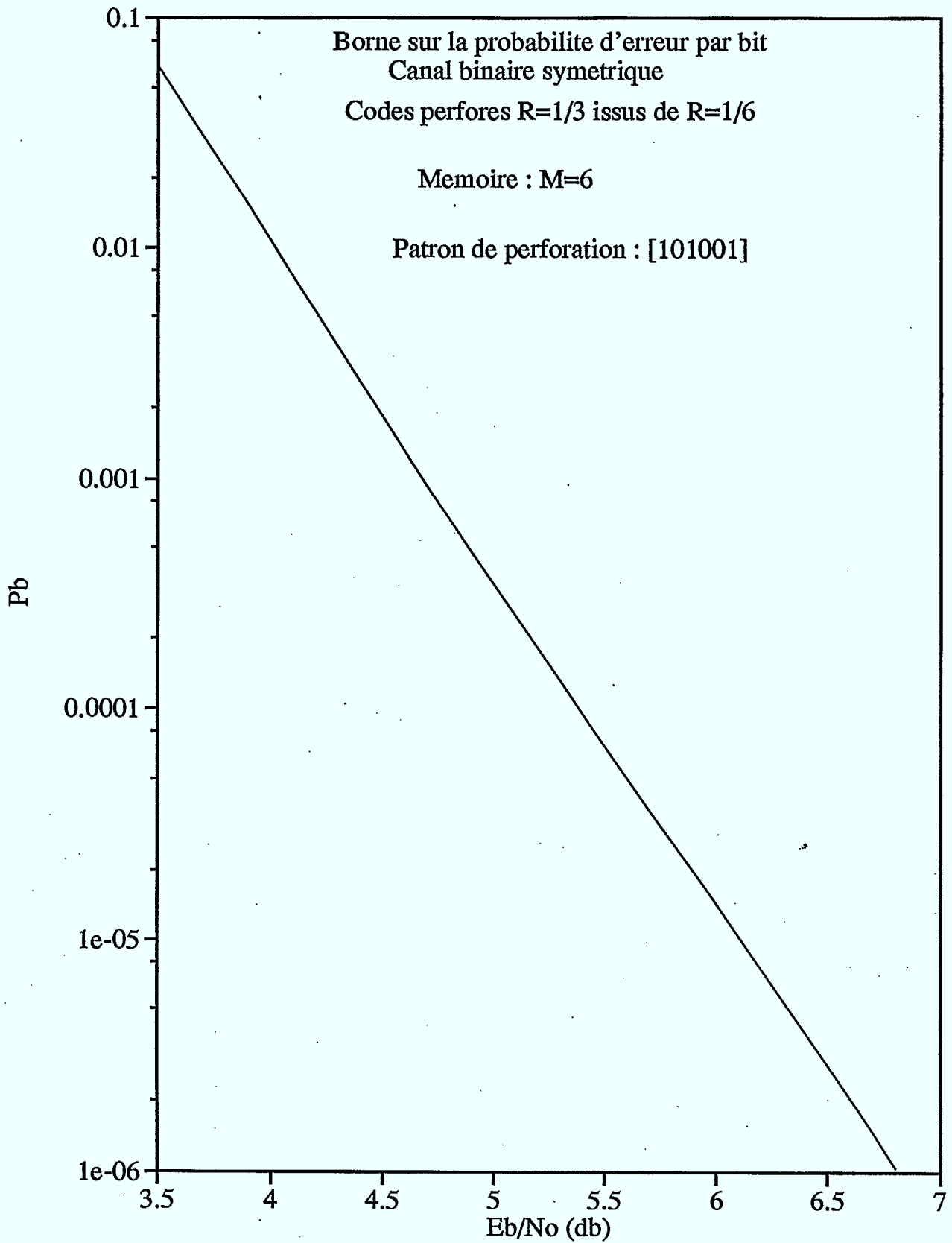
SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

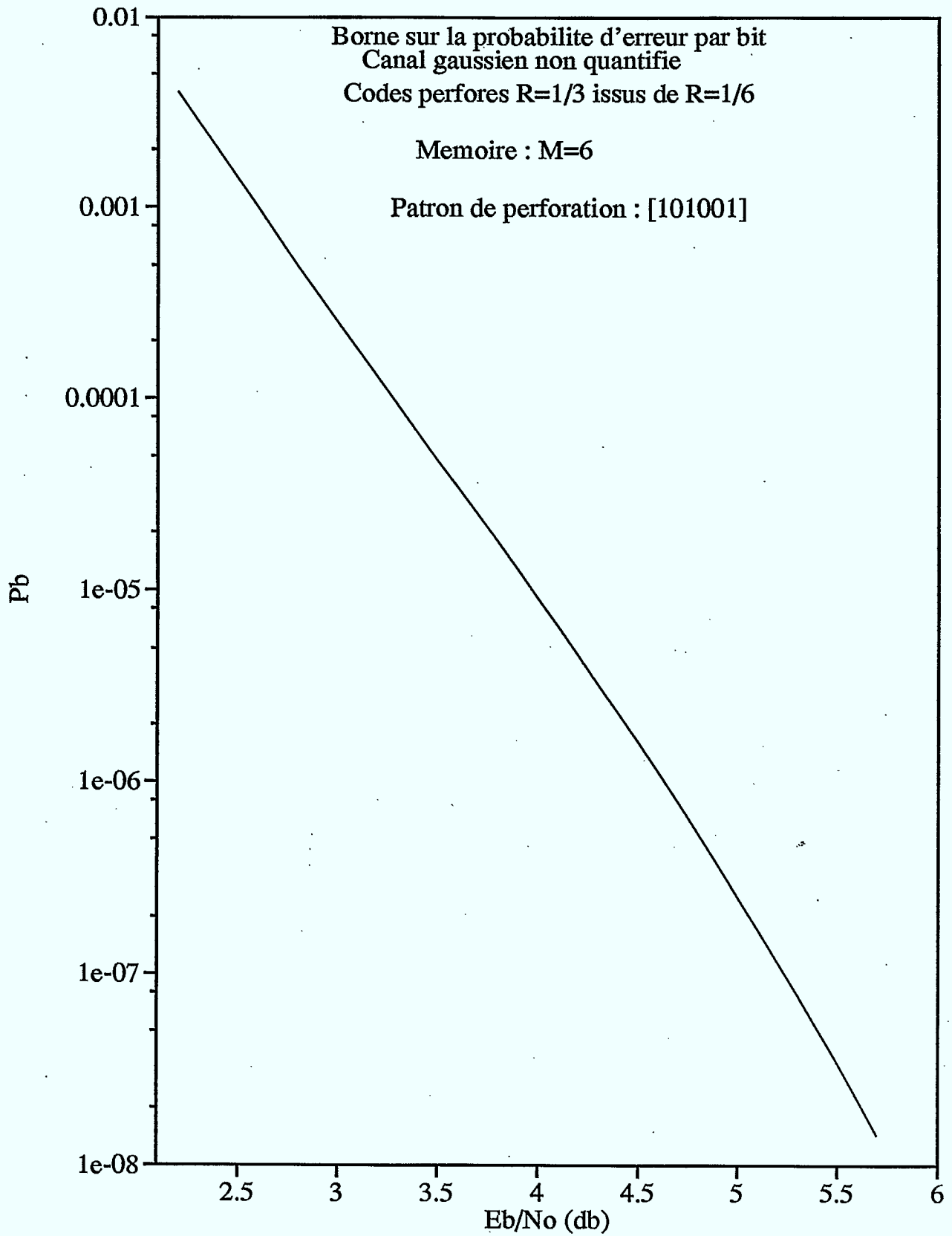
Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
14	2	4
15	2	6
16	2	10
17	6	26
18	7	28
19	10	42
20	16	88
21	30	184
22	61	372
23	113	741
24	171	1228
25	278	2096
26	464	3628
27	778	6510
28	1335	11822
29	2287	21257
30	3976	38548
31	6699	67755
32	11163	118296
33	18740	206758
34	31774	363824
35	54135	644121
36	91761	1132774
37	154796	1977870
38	261940	3461136
39	443999	6062767
40	751545	10594772

MEMOIRE : 6
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/6
 GENERATEURS : 173 151 135 135 163 137

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 1/3
 PATRON DE PERFORATION : [101001]

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
2.1	-2.6712	0.987	5.7825e-03	1.4921e-01	1.900e+00	----
2.2	-2.5712	0.967	4.0352e-03	1.4643e-01	1.844e+00	----
2.3	-2.4712	0.949	2.8210e-03	1.4366e-01	1.783e+00	----
2.4	-2.3712	0.931	1.9766e-03	1.4088e-01	1.727e+00	----
2.5	-2.2712	0.913	1.3889e-03	1.3812e-01	1.661e+00	----
2.6	-2.1712	0.896	9.7886e-04	1.3536e-01	1.603e+00	----
2.7	-2.0712	0.879	6.9215e-04	1.3260e-01	1.535e+00	----
2.8	-1.9712	0.862	4.9104e-04	1.2985e-01	1.473e+00	----
2.9	-1.8712	0.846	3.4948e-04	1.2712e-01	1.404e+00	----
3.0	-1.7712	0.830	2.4947e-04	1.2439e-01	1.336e+00	----
3.1	-1.6712	0.815	1.7855e-04	1.2167e-01	1.268e+00	----
3.2	-1.5712	0.800	1.2807e-04	1.1896e-01	1.193e+00	----
3.3	-1.4712	0.786	9.2010e-05	1.1627e-01	1.129e+00	----
3.4	-1.3712	0.771	6.6176e-05	1.1358e-01	1.046e+00	----
3.5	-1.2712	0.757	4.7619e-05	1.1092e-01	9.869e-01	6.1785e-02
3.6	-1.1712	0.744	3.4261e-05	1.0826e-01	9.477e-01	4.3582e-02
3.7	-1.0712	0.731	2.4633e-05	1.0563e-01	9.061e-01	3.0679e-02
3.8	-0.9712	0.718	1.7688e-05	1.0301e-01	8.694e-01	2.1564e-02
3.9	-0.8712	0.705	1.2678e-05	1.0041e-01	8.254e-01	1.5143e-02
4.0	-0.7712	0.693	9.0651e-06	9.7822e-02	7.818e-01	1.0632e-02
4.1	-0.6712	0.681	6.4634e-06	9.5260e-02	7.416e-01	7.4672e-03
4.2	-0.5712	0.669	4.5932e-06	9.2718e-02	6.964e-01	5.2499e-03
4.3	-0.4712	0.658	3.2520e-06	9.0198e-02	6.490e-01	3.6971e-03
4.4	-0.3712	0.647	2.2929e-06	8.7701e-02	6.037e-01	2.6094e-03
4.5	-0.2712	0.636	1.6093e-06	8.5228e-02	5.603e-01	1.8467e-03
4.6	-0.1712	0.626	1.1240e-06	8.2780e-02	5.094e-01	1.3111e-03
4.7	-0.0712	0.615	7.8102e-07	8.0358e-02	4.792e-01	9.3399e-04
4.8	0.0288	0.605	5.3967e-07	7.7963e-02	4.758e-01	6.6777e-04
4.9	0.1288	0.596	3.7073e-07	7.5595e-02	4.598e-01	4.7918e-04
5.0	0.2288	0.586	2.5312e-07	7.3257e-02	4.442e-01	3.4506e-04
5.1	0.3288	0.577	1.7171e-07	7.0947e-02	4.289e-01	2.4931e-04
5.2	0.4288	0.568	1.1570e-07	6.8669e-02	4.140e-01	1.8066e-04
5.3	0.5288	0.559	7.7424e-08	6.6422e-02	3.995e-01	1.3125e-04
5.4	0.6288	0.551	5.1435e-08	6.4207e-02	3.853e-01	9.5551e-05
5.5	0.7288	0.543	3.3914e-08	6.2025e-02	3.715e-01	6.9668e-05
5.6	0.8288	0.535	2.2189e-08	5.9878e-02	3.580e-01	5.0846e-05
5.7	0.9288	0.527	1.4401e-08	5.7765e-02	3.448e-01	3.7125e-05
5.8	1.0288	0.519	9.2701e-09	5.5688e-02	3.320e-01	2.7103e-05
5.9	1.1288	0.512	5.9164e-09	5.3647e-02	3.195e-01	1.9774e-05
6.0	1.2288	0.505	3.7429e-09	5.1643e-02	3.072e-01	1.4410e-05
6.1	1.3288	0.498	2.3466e-09	4.9678e-02	2.953e-01	1.0484e-05
6.2	1.4288	0.491	1.4576e-09	4.7750e-02	2.837e-01	7.6118e-06
6.3	1.5288	0.484	8.9674e-10	4.5862e-02	2.724e-01	5.5127e-06
6.4	1.6288	0.478	5.4630e-10	4.4013e-02	2.613e-01	3.9809e-06
6.5	1.7288	0.472	3.2947e-10	4.2205e-02	2.505e-01	2.8654e-06
6.6	1.8288	0.466	1.9665e-10	4.0437e-02	2.400e-01	2.0551e-06
6.7	1.9288	0.460	1.1613e-10	3.8710e-02	2.298e-01	1.4682e-06
6.8	2.0288	0.454	6.7832e-11	3.7025e-02	2.198e-01	1.0445e-06
6.9	2.1288	0.449	3.9180e-11	3.5382e-02	2.101e-01	7.3974e-07
7.0	2.2288	0.444	2.2371e-11	3.3782e-02	2.006e-01	5.2141e-07





Code origine : M=6, R=1/6 [DAUT (1982)]
 Generateurs : 173 151 135 135 163 137
 Distance libre du code origine : df= 30

Code perfore : M=6, R=1/3
 Patron de perforation : 1
 0
 1
 0
 1
 0

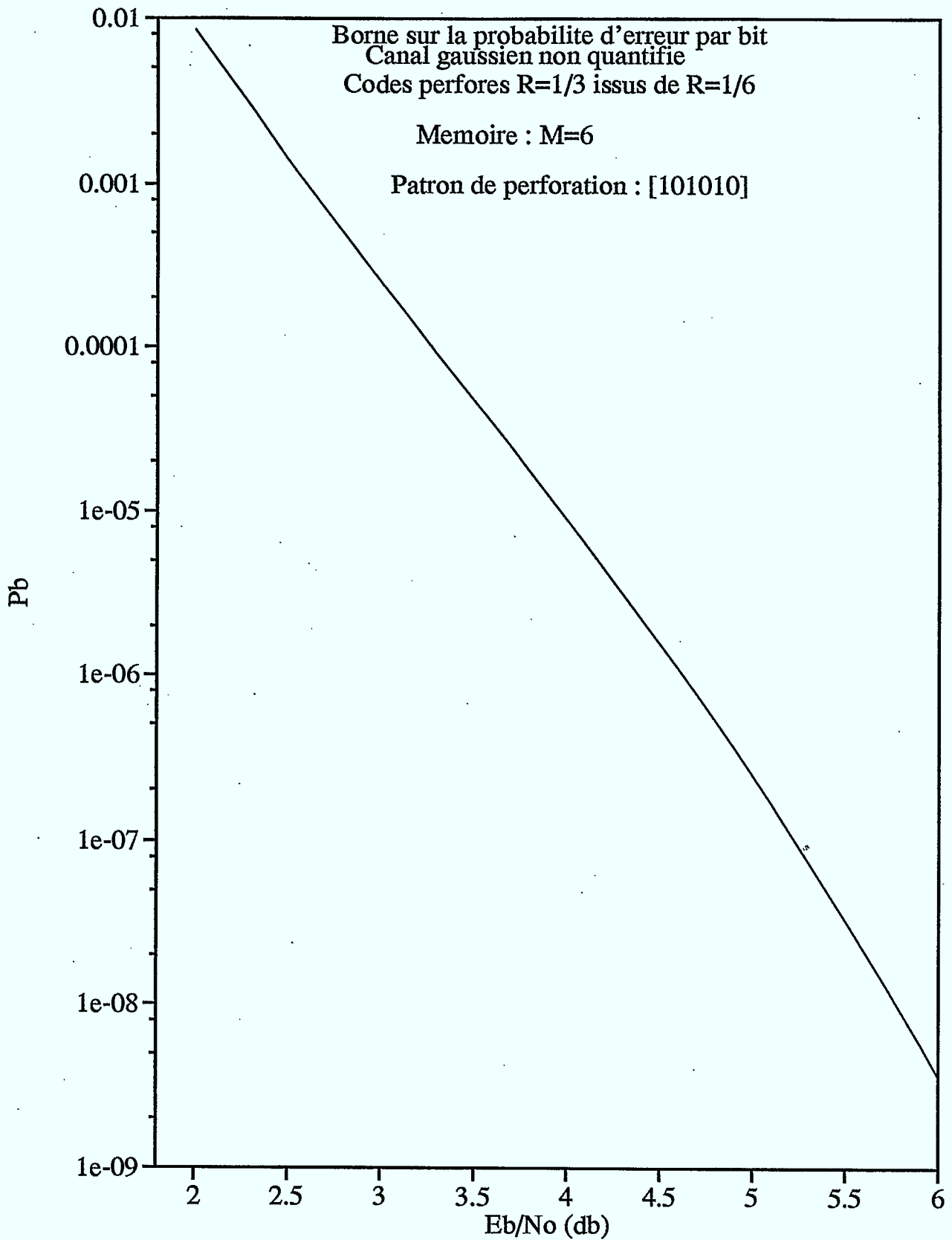
SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

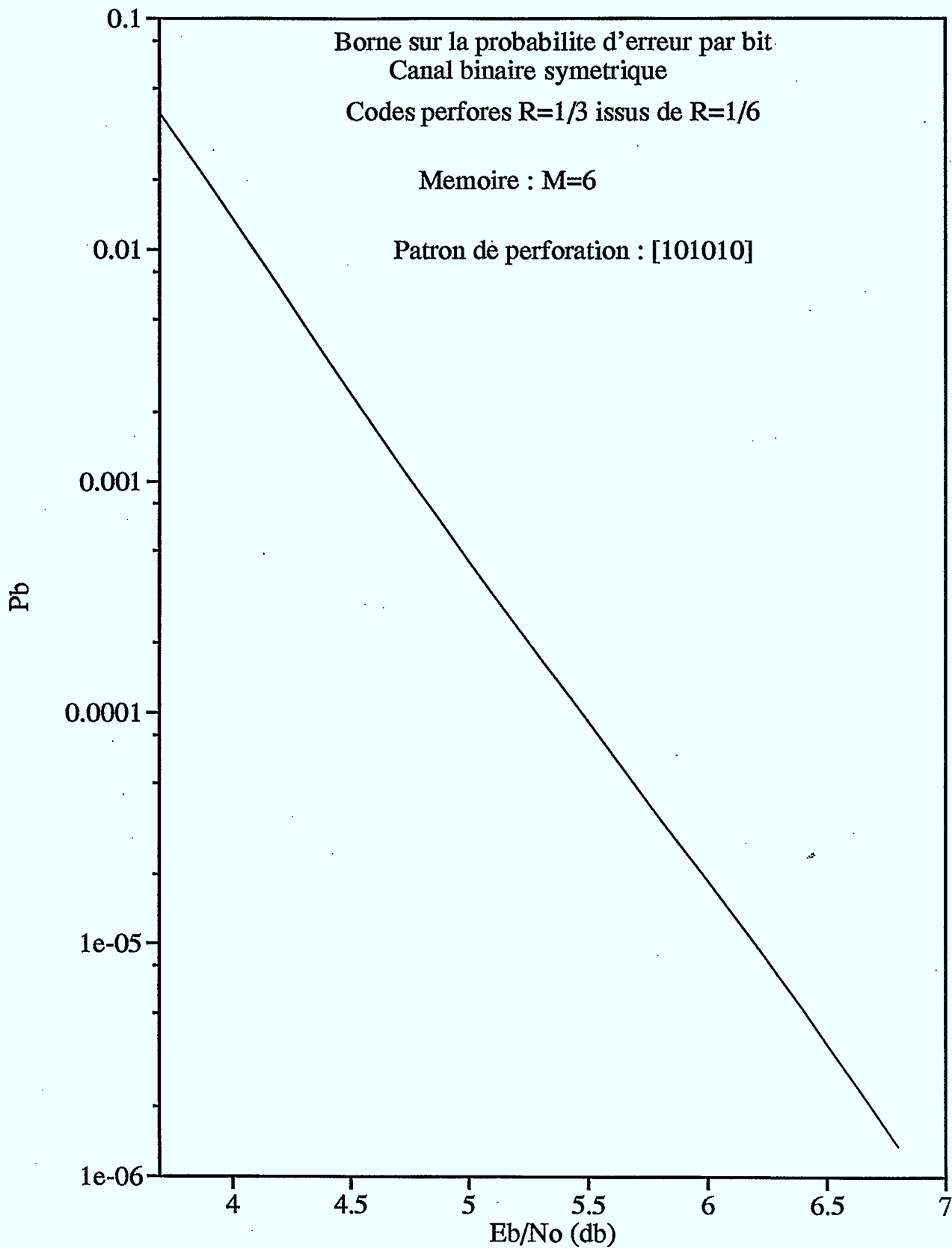
Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
14	2	5
15	0	0
16	6	21
17	0	0
18	17	74
19	0	0
20	38	213
21	0	0
22	108	693
23	0	0
24	328	2332
25	0	0
26	966	7692
27	0	0
28	2726	24036
29	0	0
30	7751	75529
31	0	0
32	22162	235381
33	0	0
34	63252	725791
35	0	0
36	181718	2240825
37	0	0
38	518996	6851359
39	0	0
40	1484573	20890979

MEMOIRE : 6
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/6
 GENERATEURS : 173 151 135 135 163 137

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 1/3
 PATRON DE PERFORATION : [101010]

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
2.1	-2.6712	0.987	5.9144e-03	1.4921e-01	2.046e+00	---
2.2	-2.5712	0.967	4.1163e-03	1.4643e-01	1.966e+00	---
2.3	-2.4712	0.949	2.8704e-03	1.4366e-01	1.906e+00	---
2.4	-2.3712	0.931	2.0066e-03	1.4088e-01	1.848e+00	---
2.5	-2.2712	0.913	1.4068e-03	1.3812e-01	1.784e+00	---
2.6	-2.1712	0.896	9.8941e-04	1.3536e-01	1.725e+00	---
2.7	-2.0712	0.879	6.9821e-04	1.3260e-01	1.658e+00	---
2.8	-1.9712	0.862	4.9438e-04	1.2985e-01	1.595e+00	---
2.9	-1.8712	0.846	3.5119e-04	1.2712e-01	1.527e+00	---
3.0	-1.7712	0.830	2.5022e-04	1.2439e-01	1.458e+00	---
3.1	-1.6712	0.815	1.7875e-04	1.2167e-01	1.391e+00	---
3.2	-1.5712	0.800	1.2796e-04	1.1896e-01	1.315e+00	---
3.3	-1.4712	0.786	9.1756e-05	1.1627e-01	1.252e+00	---
3.4	-1.3712	0.771	6.5863e-05	1.1358e-01	1.168e+00	---
3.5	-1.2712	0.757	4.7299e-05	1.1092e-01	1.096e+00	---
3.6	-1.1712	0.744	3.3963e-05	1.0826e-01	1.018e+00	---
3.7	-1.0712	0.731	2.4369e-05	1.0563e-01	9.673e-01	3.9261e-02
3.8	-0.9712	0.718	1.7464e-05	1.0301e-01	9.302e-01	2.7644e-02
3.9	-0.8712	0.705	1.2493e-05	1.0041e-01	8.868e-01	1.9449e-02
4.0	-0.7712	0.693	8.9162e-06	9.7822e-02	8.429e-01	1.3682e-02
4.1	-0.6712	0.681	6.3461e-06	9.5260e-02	8.025e-01	9.6296e-03
4.2	-0.5712	0.669	4.5024e-06	9.2718e-02	7.579e-01	6.7851e-03
4.3	-0.4712	0.658	3.1829e-06	9.0198e-02	7.103e-01	4.7891e-03
4.4	-0.3712	0.647	2.2411e-06	8.7701e-02	6.647e-01	3.3879e-03
4.5	-0.2712	0.636	1.5712e-06	8.5228e-02	6.211e-01	2.4032e-03
4.6	-0.1712	0.626	1.0964e-06	8.2780e-02	5.709e-01	1.7100e-03
4.7	-0.0712	0.615	7.6123e-07	8.0358e-02	5.196e-01	1.2208e-03
4.8	0.0288	0.605	5.2574e-07	7.7963e-02	4.758e-01	8.7459e-04
4.9	0.1288	0.596	3.6108e-07	7.5595e-02	4.398e-01	6.2872e-04
5.0	0.2288	0.586	2.4653e-07	7.3257e-02	4.042e-01	4.5346e-04
5.1	0.3288	0.577	1.6729e-07	7.0947e-02	3.789e-01	3.2805e-04
5.2	0.4288	0.568	1.1279e-07	6.8669e-02	3.540e-01	2.3796e-04
5.3	0.5288	0.559	7.5536e-08	6.6422e-02	3.300e-01	1.7300e-04
5.4	0.6288	0.551	5.0237e-08	6.4207e-02	3.075e-01	1.2600e-04
5.5	0.7288	0.543	3.3171e-08	6.2025e-02	2.860e-01	9.1877e-05
5.6	0.8288	0.535	2.1739e-08	5.9878e-02	2.660e-01	6.7044e-05
5.7	0.9288	0.527	1.4137e-08	5.7765e-02	2.470e-01	4.8931e-05
5.8	1.0288	0.519	9.1201e-09	5.5688e-02	2.290e-01	3.5698e-05
5.9	1.1288	0.512	5.8352e-09	5.3647e-02	2.130e-01	2.6021e-05
6.0	1.2288	0.505	3.7017e-09	5.1643e-02	1.980e-01	1.8942e-05
6.1	1.3288	0.498	2.3277e-09	4.9678e-02	1.840e-01	1.3764e-05
6.2	1.4288	0.491	1.4505e-09	4.7750e-02	1.710e-01	9.9795e-06
6.3	1.5288	0.484	8.9551e-10	4.5862e-02	1.590e-01	7.2165e-06
6.4	1.6288	0.478	5.4757e-10	4.4013e-02	1.480e-01	5.2030e-06
6.5	1.7288	0.472	3.3152e-10	4.2205e-02	1.380e-01	3.7388e-06
6.6	1.8288	0.466	1.9868e-10	4.0437e-02	1.290e-01	2.6769e-06
6.7	1.9288	0.460	1.1783e-10	3.8710e-02	1.210e-01	1.9091e-06
6.8	2.0288	0.454	6.9133e-11	3.7025e-02	1.140e-01	1.3557e-06
6.9	2.1288	0.449	4.0115e-11	3.5382e-02	1.080e-01	9.5843e-07
7.0	2.2288	0.444	2.3014e-11	3.3782e-02	1.030e-01	6.7436e-07





Code origine : M=6, R=1/6 [DAUT (1982)]
 Generateurs : 173 151 135 135 163 137
 Distance libre du code origine : df= 30

Code perfore : M=6, R=1/2
 Patron de perforation : 0
 1
 0
 0
 1
 0

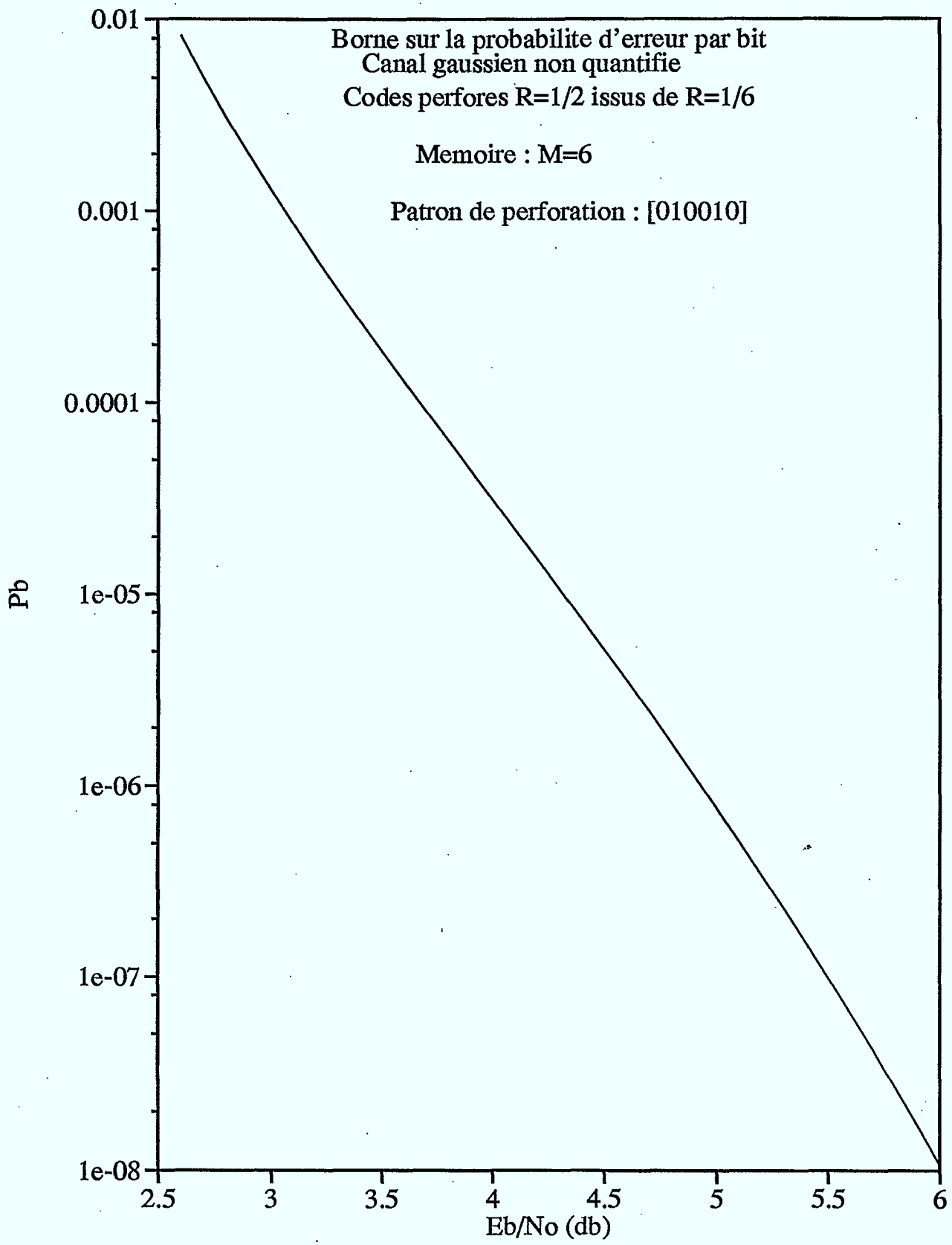
SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
9	2	4
10	7	30
11	15	89
12	27	176
13	63	449
14	158	1260
15	358	3116
16	865	8244
17	2123	22031
18	5023	56338
19	11927	143511
20	28333	364110
21	67183	918617
22	159672	2312656
23	380083	5816131
24	904787	14588822
25	2151238	36450094
26	5116149	90882258
27	12170127	226154587
28	28937348	561443090
29	68816482	1391562104
30	163678666	3443860966
31	389272429	8509402127
32	925797550	20996301184
33	2201834078	51739740968
34	5236582097	127342209268
35	12453996865	313057475177
36	29619065413	768804947356
37	70442659790	1886153767814
38	167532493019	4623066211956
39	398439511202	11321404941228
40	947602618436	27701910597272

MEMOIRE : 6
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/6
 GENERATEURS : 173 151 135 135 163 137

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 1/2
 PATRON DE PERFORATION : [010010]

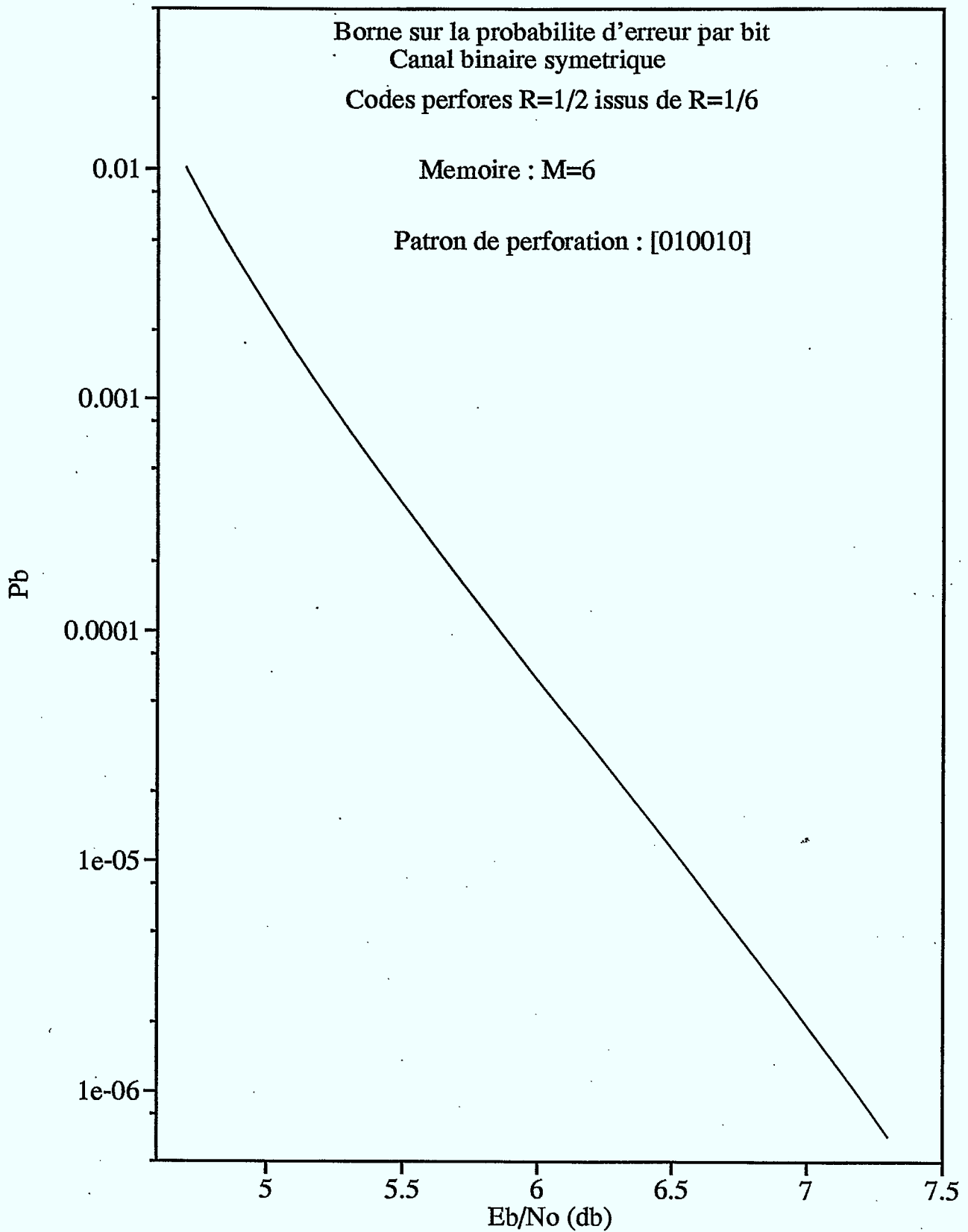
Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
2.5	-0.5103	0.993	1.3969e-02	9.1180e-02	4.026e+00	---
2.6	-0.4103	0.977	8.2833e-03	8.8674e-02	3.816e+00	---
2.7	-0.3103	0.960	5.0248e-03	8.6192e-02	3.626e+00	---
2.8	-0.2103	0.944	3.1205e-03	8.3734e-02	3.443e+00	---
2.9	-0.1103	0.929	1.9828e-03	8.1302e-02	3.258e+00	---
3.0	-0.0103	0.914	1.2868e-03	7.8896e-02	3.046e+00	---
3.1	0.0897	0.899	8.5090e-04	7.6517e-02	1.299e+00	---
3.2	0.1897	0.885	5.7164e-04	7.4167e-02	1.275e+00	---
3.3	0.2897	0.871	3.8902e-04	7.1846e-02	1.252e+00	---
3.4	0.3897	0.857	2.6744e-04	6.9556e-02	1.230e+00	---
3.5	0.4897	0.844	1.8528e-04	6.7296e-02	1.208e+00	---
3.6	0.5897	0.831	1.2908e-04	6.5069e-02	1.186e+00	---
3.7	0.6897	0.819	9.0261e-05	6.2874e-02	1.165e+00	---
3.8	0.7897	0.806	6.3260e-05	6.0713e-02	1.145e+00	---
3.9	0.8897	0.795	4.4380e-05	5.8586e-02	1.125e+00	---
4.0	0.9897	0.783	3.1132e-05	5.6495e-02	1.105e+00	---
4.1	1.0897	0.772	2.1818e-05	5.4440e-02	1.086e+00	---
4.2	1.1897	0.761	1.5263e-05	5.2422e-02	1.068e+00	---
4.3	1.2897	0.751	1.0652e-05	5.0441e-02	1.050e+00	---
4.4	1.3897	0.740	7.4110e-06	4.8499e-02	1.032e+00	---
4.5	1.4897	0.730	5.1381e-06	4.6595e-02	1.015e+00	---
4.6	1.5897	0.721	3.5480e-06	4.4731e-02	9.984e-01	1.6908e-02
4.7	1.6897	0.711	2.4392e-06	4.2907e-02	9.821e-01	1.0135e-02
4.8	1.7897	0.702	1.6688e-06	4.1123e-02	9.662e-01	6.2063e-03
4.9	1.8897	0.693	1.1359e-06	3.9380e-02	9.506e-01	3.8865e-03
5.0	1.9897	0.685	7.6886e-07	3.7679e-02	9.355e-01	2.4885e-03
5.1	2.0897	0.677	5.1742e-07	3.6020e-02	9.208e-01	1.6273e-03
5.2	2.1897	0.669	3.4608e-07	3.4402e-02	9.064e-01	1.0845e-03
5.3	2.2897	0.661	2.3000e-07	3.2828e-02	8.925e-01	7.3479e-04
5.4	2.3897	0.653	1.5184e-07	3.1295e-02	8.788e-01	5.0475e-04
5.5	2.4897	0.646	9.9548e-08	2.9806e-02	8.656e-01	3.5062e-04
5.6	2.5897	0.639	6.4797e-08	2.8360e-02	8.527e-01	2.4570e-04
5.7	2.6897	0.632	4.1864e-08	2.6957e-02	8.401e-01	1.7332e-04
5.8	2.7897	0.626	2.6840e-08	2.5597e-02	8.278e-01	1.2285e-04
5.9	2.8897	0.619	1.7072e-08	2.4281e-02	8.159e-01	8.7369e-05
6.0	2.9897	0.613	1.0770e-08	2.3007e-02	8.043e-01	6.2257e-05
6.1	3.0897	0.607	6.7378e-09	2.1777e-02	7.930e-01	4.4403e-05
6.2	3.1897	0.602	4.1788e-09	2.0589e-02	7.820e-01	3.1668e-05
6.3	3.2897	0.596	2.5687e-09	1.9444e-02	7.714e-01	2.2566e-05
6.4	3.3897	0.591	1.5646e-09	1.8341e-02	7.610e-01	1.6056e-05
6.5	3.4897	0.586	9.4409e-10	1.7280e-02	7.509e-01	1.1400e-05
6.6	3.5897	0.581	5.6420e-10	1.6260e-02	7.411e-01	8.0723e-06
6.7	3.6897	0.577	3.3386e-10	1.5281e-02	7.316e-01	5.6981e-06
6.8	3.7897	0.572	1.9556e-10	1.4344e-02	7.223e-01	4.0079e-06
6.9	3.8897	0.568	1.1336e-10	1.3446e-02	7.133e-01	2.8079e-06
7.0	3.9897	0.564	6.5017e-11	1.2587e-02	7.046e-01	1.9586e-06
7.1	4.0897	0.560	3.6883e-11	1.1767e-02	6.961e-01	1.3599e-06
7.2	4.1897	0.556	2.0689e-11	1.0986e-02	6.879e-01	9.3944e-07
7.3	4.2897	0.553	1.1473e-11	1.0241e-02	6.800e-01	6.4555e-07
7.4	4.3897	0.549	6.2872e-12	9.5333e-03	6.722e-01	4.4112e-07
7.5	4.4897	0.546	3.4040e-12	8.8611e-03	6.648e-01	2.9965e-07
7.6	4.5897	0.543	1.8202e-12	8.2237e-03	6.575e-01	2.0230e-07
7.7	4.6897	0.540	9.6103e-13	7.6203e-03	6.505e-01	1.3570e-07
7.8	4.7897	0.537	5.0081e-13	7.0500e-03	6.437e-01	9.0420e-08
7.9	4.8897	0.535	2.5751e-13	6.5116e-03	6.371e-01	5.9829e-08
8.0	4.9897	0.532	1.3060e-13	6.0044e-03	6.307e-01	3.9302e-08



Borne sur la probabilité d'erreur par bit
Canal binaire symétrique
Codes perfores $R=1/2$ issus de $R=1/6$

Memoire : $M=6$

Patron de perforation : [010010]



Code origine : M=6, R=1/6 [DAUT (1982)]
 Generateurs : 173 151 135 135 163 137
 Distance libre du code origine : df= 30

Code perfore : M=6, R=1/2
 Patron de perforation : 0
 0
 1
 0
 1
 0

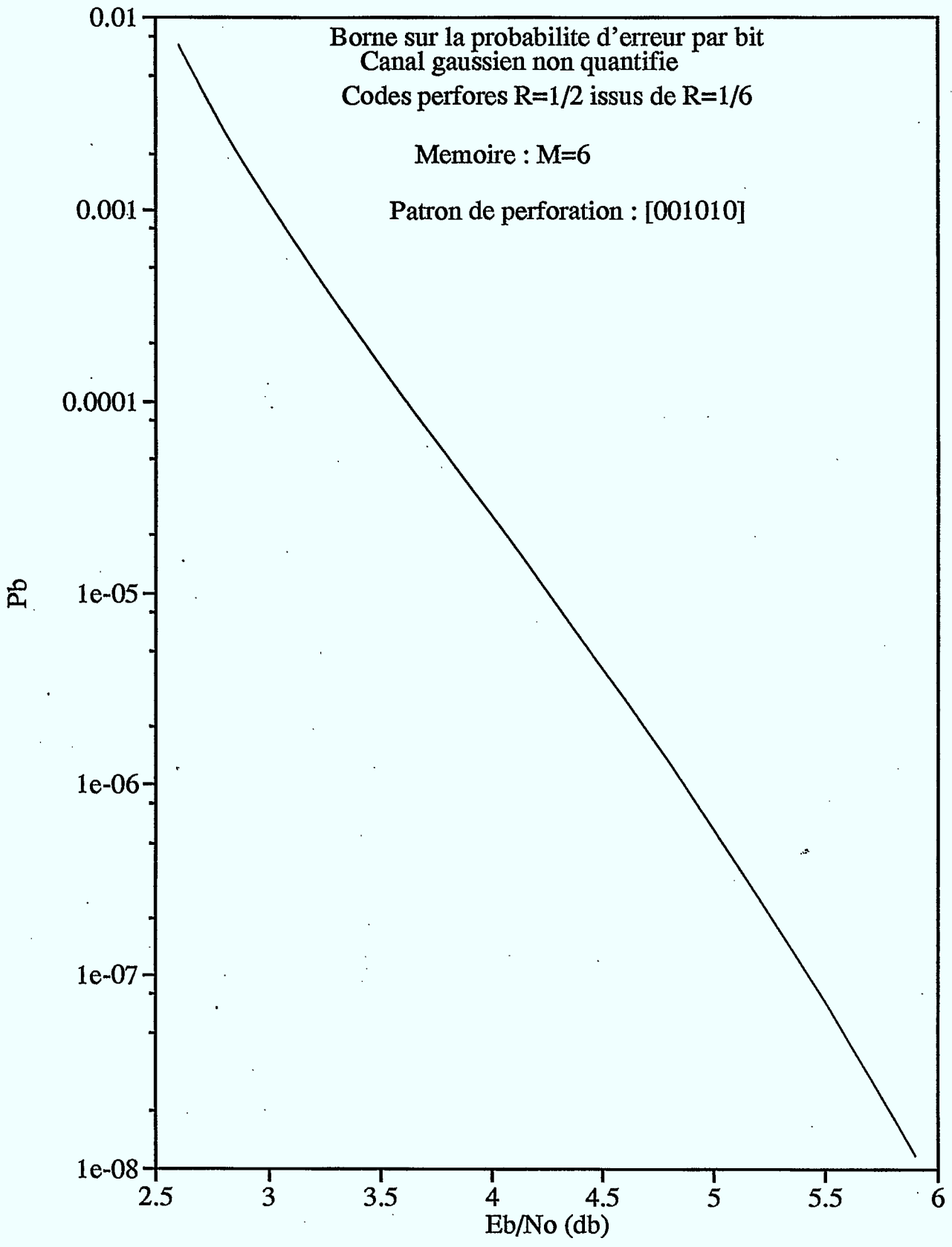
SPECTRE DE DISTANCES DU CODE PERFORE

Distance de Hamming d	Nombre de chemins Ad	Nb total de bits en erreur Cd
10	12	46
11	0	0
12	53	332
13	0	0
14	234	1911
15	0	0
16	1517	14149
17	0	0
18	8862	97518
19	0	0
20	48590	620348
21	0	0
22	276334	3970592
23	0	0
24	1581703	25282829
25	0	0
26	8962291	158125639
27	0	0
28	50823073	980271778
29	0	0
30	288833817	6043552654
31	0	0
32	1640358235	37016390995
33	0	0
34	9312729768	225451155186
35	0	0
36	52883334341	1367034093404
37	0	0
38	300311859789	8255960977163
39	0	0
40	1705294492638	49680358368048

MEMOIRE : 6
 TAUX DE CODAGE INITIAL : 1/6
 GENERATEURS : 173 151 135 135 163 137

TAUX DE CODAGE APRES PERFORATION : 1/2
 PATRON DE PERFORATION : [001010]

Eb/No	Es/No	R/Ro (AWGN)	Pb (AWGN)	p	R/Ro (BSC)	Pb (BSC)
2.5	-0.5103	0.993	1.2299e-02	9.1180e-02	4.442e+00	---
2.6	-0.4103	0.977	7.2247e-03	8.8674e-02	4.067e+00	---
2.7	-0.3103	0.960	4.3446e-03	8.6192e-02	3.837e+00	---
2.8	-0.2103	0.944	2.6768e-03	8.3734e-02	3.647e+00	---
2.9	-0.1103	0.929	1.6888e-03	8.1302e-02	3.462e+00	---
3.0	-0.0103	0.914	1.0892e-03	7.8896e-02	3.265e+00	---
3.1	0.0897	0.899	7.1631e-04	7.6517e-02	1.299e+00	---
3.2	0.1897	0.885	4.7887e-04	7.4167e-02	1.275e+00	---
3.3	0.2897	0.871	3.2446e-04	7.1846e-02	1.252e+00	---
3.4	0.3897	0.857	2.2215e-04	6.9556e-02	1.230e+00	---
3.5	0.4897	0.844	1.5331e-04	6.7296e-02	1.208e+00	---
3.6	0.5897	0.831	1.0641e-04	6.5069e-02	1.186e+00	---
3.7	0.6897	0.819	7.4134e-05	6.2874e-02	1.165e+00	---
3.8	0.7897	0.806	5.1765e-05	6.0713e-02	1.145e+00	---
3.9	0.8897	0.795	3.6178e-05	5.8586e-02	1.125e+00	---
4.0	0.9897	0.783	2.5278e-05	5.6495e-02	1.105e+00	---
4.1	1.0897	0.772	1.7642e-05	5.4440e-02	1.086e+00	---
4.2	1.1897	0.761	1.2288e-05	5.2422e-02	1.068e+00	---
4.3	1.2897	0.751	8.5353e-06	5.0441e-02	1.050e+00	---
4.4	1.3897	0.740	5.9090e-06	4.8499e-02	1.032e+00	---
4.5	1.4897	0.730	4.0749e-06	4.6595e-02	1.015e+00	---
4.6	1.5897	0.721	2.7977e-06	4.4731e-02	9.984e-01	2.1090e-02
4.7	1.6897	0.711	1.9114e-06	4.2907e-02	9.821e-01	1.2626e-02
4.8	1.7897	0.702	1.2990e-06	4.1123e-02	9.662e-01	7.7241e-03
4.9	1.8897	0.693	8.7781e-07	3.9380e-02	9.506e-01	4.8347e-03
5.0	1.9897	0.685	5.8957e-07	3.7679e-02	9.355e-01	3.0958e-03
5.1	2.0897	0.677	3.9344e-07	3.6020e-02	9.208e-01	2.0257e-03
5.2	2.1897	0.669	2.6077e-07	3.4402e-02	9.064e-01	1.3516e-03
5.3	2.2897	0.661	1.7162e-07	3.2828e-02	8.925e-01	9.1726e-04
5.4	2.3897	0.653	1.1210e-07	3.1295e-02	8.788e-01	6.3140e-04
5.5	2.4897	0.646	7.2664e-08	2.9806e-02	8.656e-01	4.3965e-04
5.6	2.5897	0.639	4.6721e-08	2.8360e-02	8.527e-01	3.0891e-04
5.7	2.6897	0.632	2.9789e-08	2.6957e-02	8.401e-01	2.1853e-04
5.8	2.7897	0.626	1.8830e-08	2.5597e-02	8.278e-01	1.5537e-04
5.9	2.8897	0.619	1.1796e-08	2.4281e-02	8.159e-01	1.1083e-04
6.0	2.9897	0.613	7.3210e-09	2.3007e-02	8.043e-01	7.9222e-05
6.1	3.0897	0.607	4.5004e-09	2.1777e-02	7.930e-01	5.6680e-05
6.2	3.1897	0.602	2.7393e-09	2.0589e-02	7.820e-01	4.0549e-05
6.3	3.2897	0.596	1.6504e-09	1.9444e-02	7.714e-01	2.8984e-05
6.4	3.3897	0.591	9.8394e-10	1.8341e-02	7.610e-01	2.0685e-05
6.5	3.4897	0.586	5.8030e-10	1.7280e-02	7.509e-01	1.4730e-05
6.6	3.5897	0.581	3.3845e-10	1.6260e-02	7.411e-01	1.0460e-05
6.7	3.6897	0.577	1.9514e-10	1.5281e-02	7.316e-01	7.4041e-06
6.8	3.7897	0.572	1.1120e-10	1.4344e-02	7.223e-01	5.2218e-06
6.9	3.8897	0.568	6.2601e-11	1.3446e-02	7.133e-01	3.6677e-06
7.0	3.9897	0.564	3.4806e-11	1.2587e-02	7.046e-01	2.5647e-06
7.1	4.0897	0.560	1.9106e-11	1.1767e-02	6.961e-01	1.7848e-06
7.2	4.1897	0.556	1.0351e-11	1.0986e-02	6.879e-01	1.2357e-06
7.3	4.2897	0.553	5.5325e-12	1.0241e-02	6.800e-01	8.5093e-07
7.4	4.3897	0.549	2.9165e-12	9.5333e-03	6.722e-01	5.8262e-07
7.5	4.4897	0.546	1.5158e-12	8.8611e-03	6.648e-01	3.9652e-07
7.6	4.5897	0.543	7.7637e-13	8.2237e-03	6.575e-01	2.6817e-07
7.7	4.6897	0.540	3.9176e-13	7.6203e-03	6.505e-01	1.8018e-07
7.8	4.7897	0.537	1.9467e-13	7.0500e-03	6.437e-01	1.2024e-07
7.9	4.8897	0.535	9.5228e-14	6.5116e-03	6.371e-01	7.9677e-08
8.0	4.9897	0.532	4.5838e-14	6.0044e-03	6.307e-01	5.2411e-08



Borne sur la probabilité d'erreur par bit
Canal binaire symetrique
Codes perfores R=1/2 issus de R=1/6

Memoire : M=6

Patron de perforation : [001010]

