

RAPPORT UIT-R BO.1227-2

**SYSTÈMES DE RADIODIFFUSION PAR SATELLITE POUR LA
RADIODIFFUSION NUMÉRIQUE À INTÉGRATION DE SERVICES**

(Questions UIT-R 101/10 et UIT-R 101/11)

(1990-1994-1998)

1 Introduction

Les progrès des techniques numériques – systèmes multimédia, télévision numérique, etc. – ont familiarisé le public avec les appareils numériques grand public de haute qualité, fiables et faciles à utiliser. C'est pourquoi le public a évidemment souhaité voir la radiodiffusion numérique bénéficier de ces avantages. A cet égard, la radiodiffusion numérique à intégration de services (RDNIS) permet de transmettre sur un canal de radiodiffusion unique des informations variées, codées sous forme numérique et intégrées systématiquement.

Le présent Rapport expose le concept de base de la RDNIS ainsi que certains de ses principes techniques.

2 Le concept de la RDNIS

Dans la RDNIS, divers types d'informations – vidéo, audio, télétexte, images fixes, télécopie, logiciel, télévision à haute définition (TVHD), etc. – en provenance de diverses sources sont codées numériquement, systématiquement intégrées et transmises sur un unique canal de radiodiffusion numérique. La numérisation dans la RDNIS permet non seulement une transmission de haute qualité mais également offre une plus grande souplesse et efficacité d'exploitation. Il est ainsi possible de proposer des services multimédia et pour l'utilisateur de simplifier le choix de l'information et l'accès à ces informations.

Il pourrait être possible à l'avenir d'intégrer dans la RDNIS tous les types de services de radiodiffusion existants ou en cours de développement.

3 Possibilités de base

Il serait souhaitable que la RDNIS offre les possibilités suivantes ainsi regroupées.

3.1 Souplesse

- Multiplexage sur le même canal de transmission de nombreux types de signaux de la vidéo à débit élevé aux données à faible débit.
- Transmission de signaux de service de débit différente.
- Libre organisation des services.
- Multiplexage des signaux sur la base de leur priorité.
- Choix de la qualité de service pour chaque récepteur.

3.2 Extension

- Introduction aisée des futurs nouveaux services.
- Pas d'obstacle à la venue de nouveaux radiodiffuseurs.

3.3 Interopérabilité

- Transcodage aisé des signaux provenant de divers systèmes de radiodiffusion numérique.
- Interconnexion facile avec d'autres systèmes (communication, multimédia, ordinateur, etc.).
- Multiplexage d'une grande variété de canaux de transmission avec une large gamme de capacités de transmission.

3.4 Diffusion

- Excellente efficacité de diffusion.
- Bonne qualité de diffusion (élimination des erreurs dues au canal de transmission, etc.).
- Régénération d'une synchronisation stable.
- Faible temps de rétablissement après interruption.
- Transmission des signaux avec un faible retard.

3.5 Réception

- Choix aisé des programmes.
- Multiplexage et démultiplexage faciles des services.
- Affichage des composantes des signaux de manière synchrone.
- Etablissement de liens entre les services ou les composantes des signaux.
- Réduction du temps d'attente après le choix d'un canal.
- Utilisation d'un même récepteur pour tous les supports de transmission.

3.6 Accès conditionnel

- Introduction d'une gamme étendue d'applications à accès conditionnel.

3.7 Autres possibilités

- Faibles coûts d'exploitation pour les radiodiffuseurs.
- Circuits du récepteur simples et de coût modique.

4 Considérations techniques

4.1 Aspects relatifs à la diffusion

On estime que la radiodiffusion directe par satellite est un mode de diffusion efficace pour la RDNIS. Ce service fait appel à un canal à grande largeur de bande et actuellement dans certaines régions la quasi-totalité des bandes de radiodiffusion de Terre est occupée. Grâce aux émissions par satellite, on assurera de façon économique et sur des zones étendues des services fiables et de haute qualité, ce qui est l'objectif de la RDNIS.

Les Annexes 1 et 2 contiennent une description d'un système de transmission de RDNIS par satellite et les résultats des mesures expérimentales faites sur ce système au Japon. Une comparaison entre des systèmes de transmission numérique multiprogramme par satellite et le système RDNIS susmentionné est présentée dans l'Annexe 3.

4.2 Caractéristiques du système de transport de la RDNIS

Afin de disposer des possibilités mentionnées au § 3, le système de transport des services de la RDNIS doit disposer des fonctions suivantes:

- multiplexage de grandes variétés de signaux vidéo et audionumériques et de divers types de données afin que les signaux puissent être transmis sur un seul canal et reçus distinctement par le récepteur;
- codage avec correction d'erreur facultative pour les signaux transmis sur différents types de canaux, afin qu'ils puissent être reçus correctement dans diverses conditions de réception et en présence de bruit ou de brouillage intense;
- modulation des signaux numériques, intégrés sur un seul flux binaire comprenant aussi les codes correcteurs d'erreur, par multiplexage, en utilisant les techniques de modulation et de diffusion sur la base des caractéristiques de chaque canal de transmission;
- introduction de systèmes à accès conditionnel pouvant être utilisés pour chaque type de signaux numériques, en recourant aux systèmes d'accès conditionnels spécifiques;
- technique d'accès aux données pour la technique de transport précitée permettant de recevoir facilement le service ou le programme demandé du côté réception.

4.3 Techniques de multiplexage des services

On distingue deux techniques de base de multiplexage des services: la transmission structurée et la transmission par paquets.

4.3.1 La transmission structurée

En transmission structurée, les données correspondant à chaque service sont placées dans des positions fixes de la trame de transmission. Cette technique présente les caractéristiques suivantes:

- elle permet la transmission optimale de chaque service, car elle assigne chaque service dans une partie de la trame et une position donnée correspondant au débit de transmission nécessaire;
- les données peuvent être facilement séparées, car les données peuvent être identifiées par leur position dans la trame;
- l'efficacité de transmission est élevée si le débit de transmission de chaque service est constant;
- elle présente de faibles possibilités d'extension, et il devient difficile de prendre en charge de nouveaux services une fois que le système a été spécifié.

4.3.2 La transmission par paquets

Un paquet comporte un en-tête et un champ de données pour chaque service. L'en-tête indique les attributs des données. En transmission par paquets, le paquet est placé arbitrairement dans la trame de transmission. Cette méthode présente les caractéristiques suivantes:

- divers services peuvent être spécifiés avec un protocole de transmission commun et traités de la même façon;
- elle demande un traitement pour la séparation des données afin de sélectionner les paquets à extraire de tous les paquets transmis;
- l'efficacité de transmission est élevée, car cette technique permet la transmission optimale de services à débit variable, ce qui compense d'une certaine manière la place occupée par les préfixes liés à la présence des en-têtes des paquets;
- les nouveaux services peuvent être facilement ajoutés, ce qui signifie qu'elle offre une extensibilité et une souplesse élevées.

Pour obtenir un faible taux d'erreurs de transmission, les données transmises doivent être insérées dans la trame de transmission périodique. La trame doit avoir un code de synchronisation de trame qui est suffisamment long pour le rétablissement rapide et fiable de la synchronisation. Le niveau d'entrelacement, la technique permettant de rendre aléatoire les signaux de transmission, et les systèmes de correction d'erreur doivent être choisis sur la base des besoins propres de chaque système et les caractéristiques du canal de transmission.

4.4 Fonction d'identification de l'information

La RDNIS permet d'intégrer et de transmettre un grand nombre de services variés.

Ces fonctions soulignent l'importance des possibilités d'identification et d'indexation. Elles permettraient à l'utilisateur de recevoir, choisir et utiliser directement ou stocker automatiquement et extraire les informations nécessaires.

4.5 Autres aspects

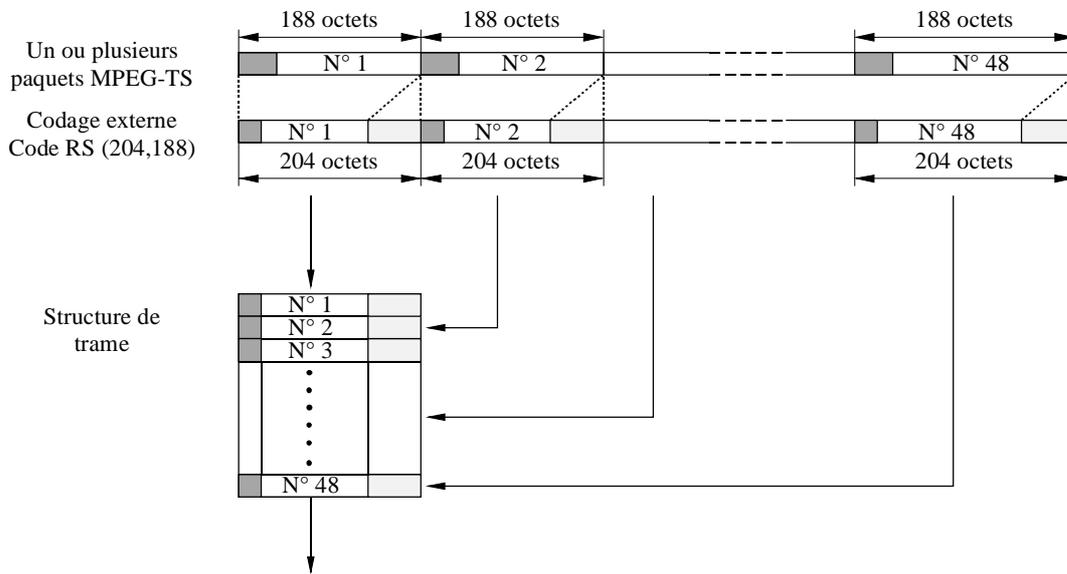
Il est également prévu d'étudier d'autres aspects et de les associer de manière optimale, cela en vue de développer la RDNIS à savoir:

- le codage de la source,
- le codage du canal,
- la modulation numérique,
- l'accès conditionnel,
- le concept de récepteur universel.

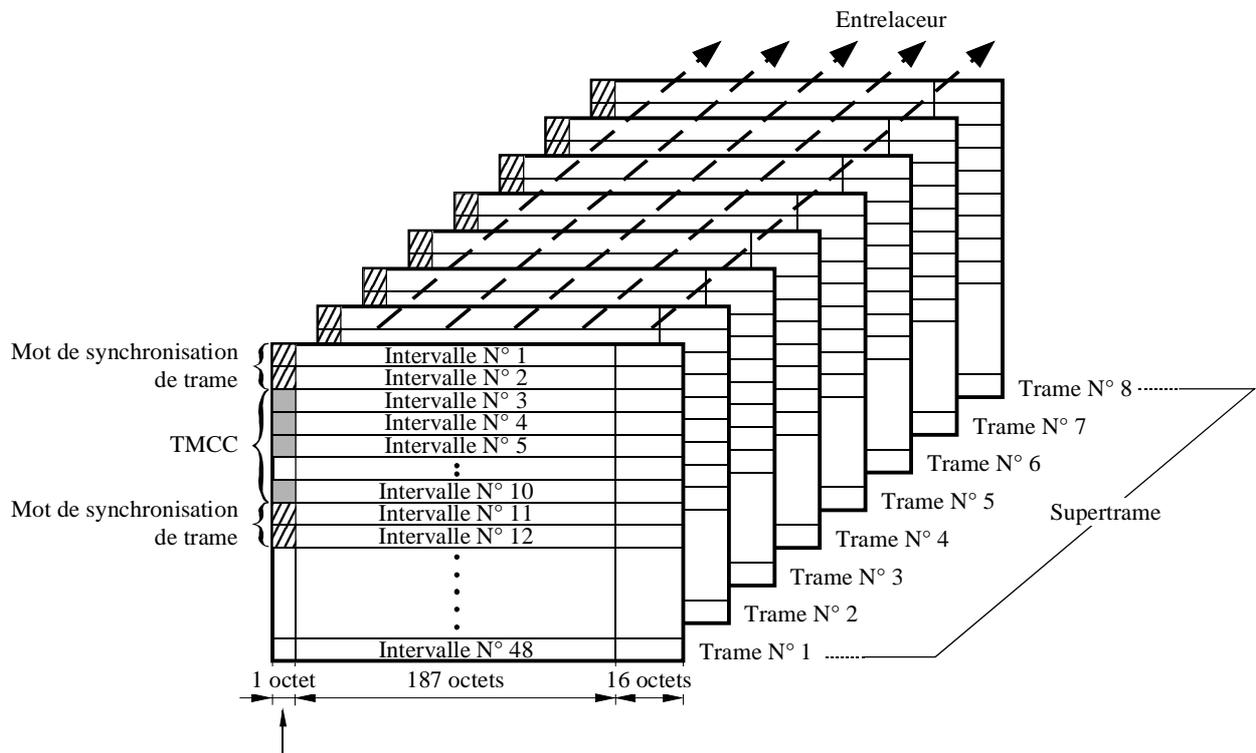
5 Conclusion

La RDNIS devrait permettre d'inclure divers services tels les services multimédia, la télévision multicanal et la TVHD. Il convient d'étudier un modèle pratique, bien organisé, adapté à la mise en œuvre des futurs systèmes de radiodiffusion.

FIGURE 2
Structure de trame



Randomisation pour la dispersion d'énergie
entrelacement sauf pour le bit de synchronisation



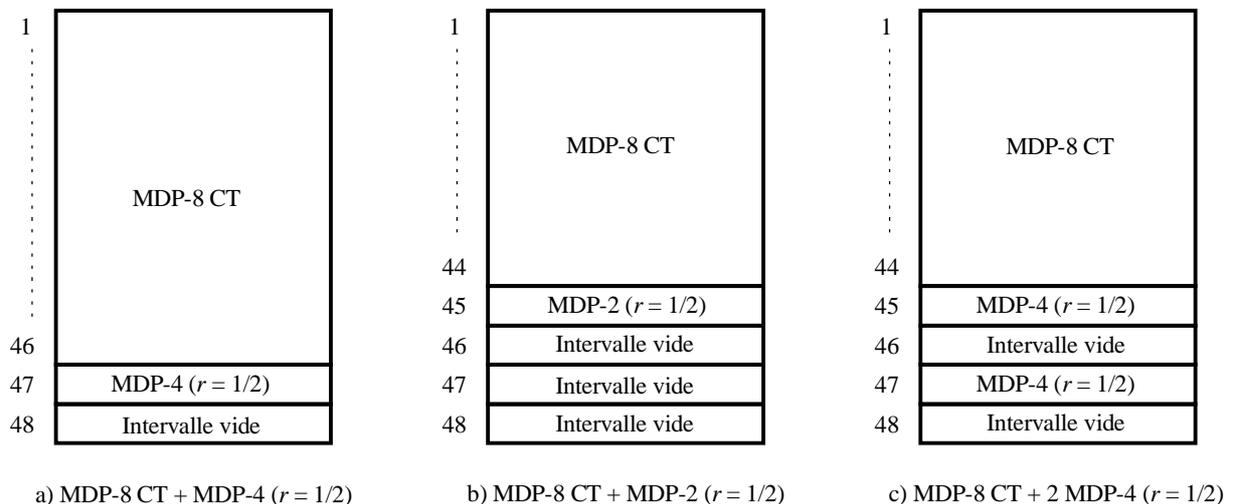
Remplacer le mot de synchronisation MPEG-2 (c'est-à-dire 47_b)
par des mots de synchronisation de trame et de supertrame
et des mots TMCC.

2.2 Affectation des intervalles

Lorsque plusieurs schémas de modulation sont utilisés sur une même porteuse, les intervalles associés à chacun de ces schémas de modulation sont placés dans la trame par ordre décroissant de taux d'utilisation des fréquences (exemple MDP-8 CT (MDP-8 à code en treillis) → MDP-4(3/4) → MDP-4(1/2) → MDP-2(1/2)).

Dans chaque trame, les données de programme transmises en MDP-8 CT occupent des intervalles précis, et peuvent occuper tous les intervalles qui leur ont été attribués. En revanche, les données de programme transmises en MDP-4 avec un débit de code interne n/m disposent de m intervalles précis dans la trame et peuvent occuper n intervalles parmi les m attribués. Ainsi, quatre intervalles par trame sont attribués aux données de programme transmises en MDP-2 avec un débit de code interne $1/2$ et ces données peuvent occuper un intervalle sur les quatre attribués, les trois autres intervalles étant des intervalles vides. Les intervalles vides servent à éviter les variations de la fréquence d'horloge de traitement dans les trames (voir la Fig. 3).

FIGURE 3
Exemple d'affectation des intervalles



Rap 1227-03

3 Code externe

Un codage RS raccourci (204,188, $T = 8$) est appliqué à chaque paquet de transport (188 octets). Ce codage peut être effectué par un codeur (255,239) après adjonction de 51 octets «0» devant les octets d'information, ces octets nuls sont éliminés après le codage RS.

- polynôme générateur du code: $g(x) = (x + \lambda^0) (x + \lambda^1) (x + \lambda^2) \dots (x + \lambda^{15})$, dans lequel $\lambda = 02_h$
- polynôme primitif: $p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$.

4 Randomisation

La dispersion d'énergie s'effectue au moyen d'une séquence binaire pseudo-aléatoire (PRBS, *pseudo-random binary sequence*) dont le polynôme générateur est:

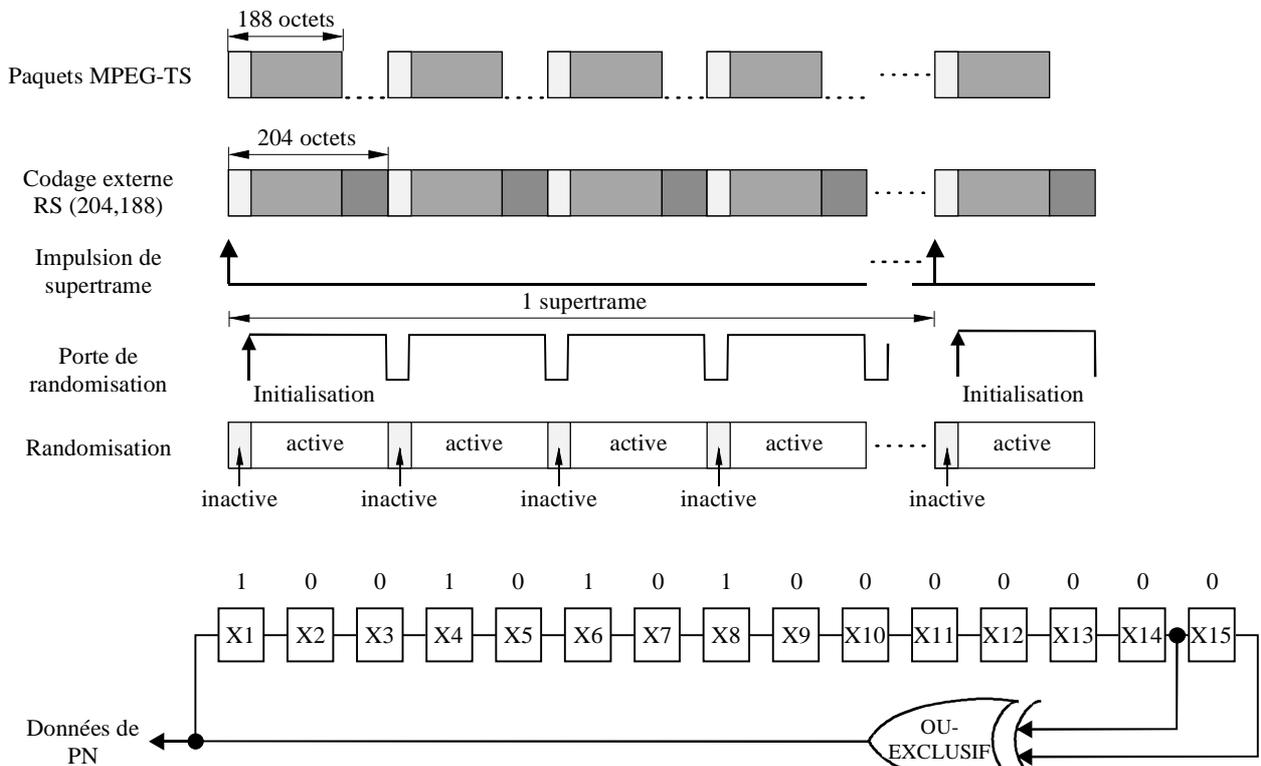
$$1 + x^{14} + x^{15}$$

Le chargement de la séquence «100101010000000» dans les registres PRBS commence au deuxième octet de chaque supertrame comme indiqué dans la Fig. 4.

La séquence PRBS est ajoutée aux données de chaque intervalle sauf au premier octet de chaque intervalle. Pour cet octet, la production de cette séquence n'est pas interrompue mais la sortie du générateur PRBS est neutralisée, la valeur de cet octet n'est donc pas modifiée.

Comme tous les schémas de modulation, à l'exception de la MDP-8 CT, utilisent des intervalles vides, la randomisation porte aussi sur ces intervalles vides.

FIGURE 4
Schéma fonctionnel d'un randomiseur



Rap 1227-04

PN : pseudo-bruit (*pseudo-noise*)

5 Entrelacement

Les blocs subissent un entrelacement matriciel de 8×203 octets conformément au schéma décrit à la Fig. 5. L'entrelacement ne s'applique pas au premier octet de l'intervalle. Le dispositif d'entrelacement écrit 203 octets dans le i^e intervalle de toutes les trames constituant la supertrame, qu'il place ensuite horizontalement dans la matrice d'entrelacement. Le dispositif d'entrelacement lit les données tous les 203 octets dans la matrice verticalement et replace les données dans les intervalles. Le Tableau 1 représente les adresses d'écriture/lecture dans le i^e intervalle.

FIGURE 5
Schéma d'entrelacement

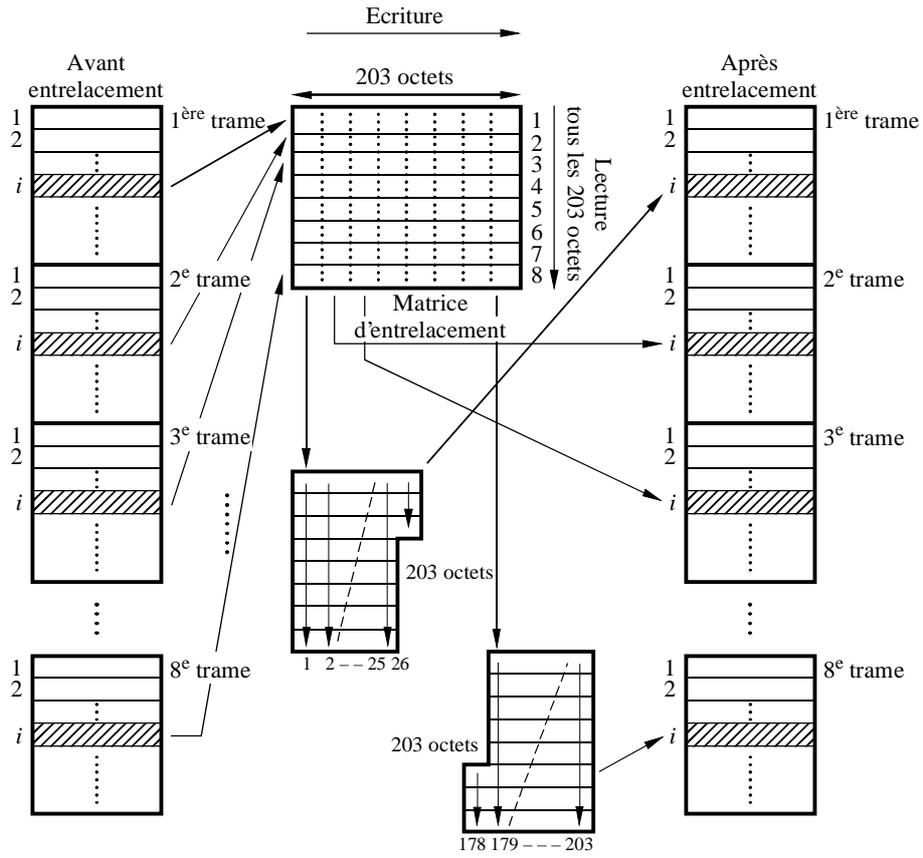


TABLEAU 1

Adresse d'écriture/lecture du i^{e} intervalleAdresses d'écriture du i^{e} intervalle (trame – octet)

	1 ^{er} octet	2 ^e octet	...	203 ^e octet
1 ^{ère} trame :	1-1	1-2	...	1-203
2 ^e trame :	2-1	2-2	...	2-203
3 ^e trame :	3-1	3-2	...	3-203
4 ^e trame :	4-1	4-2	...	4-203
5 ^e trame :	5-1	5-2	...	5-203
6 ^e trame :	6-1	6-2	...	6-203
7 ^e trame :	7-1	7-2	...	7-203
8 ^e trame :	8-1	8-2	...	8-203

Adresses de lecture du i^{e} intervalle (trame – octet)

	1 ^{er} octet	2 ^e octet	...	203 ^e octet
1 ^{ère} trame :	1-1	2-1	...	3-26
2 ^e trame :	4-26	5-26	...	6-51
3 ^e trame :	7-51	8-51	...	1-77
4 ^e trame :	2-77	3-77	...	4-102
5 ^e trame :	5-102	6-102	...	7-127
6 ^e trame :	8-127	1-128	...	2-153
7 ^e trame :	3-153	4-153	...	5-178
8 ^e trame :	6-178	7-178	...	8-203

6 TMCC

6.1 Récapitulatif

La partie TMCC de chaque trame comporte l'information TMCC (8 octets) précédée d'un mot TAB1 de 2 octets et suivie d'un mot TAB2 de 2 octets également. Ces mots TAB1 et TAB2 sont des mots de synchronisation. La trame de transmission se compose donc de la partie TMCC suivie de la partie signal principal.

La première trame attribue le mot de synchronisation W1 qui précède l'information TMCC et le mot W2 qui la suit.

W1 est le mot de synchronisation de la trame de transmission et W2 est l'identificateur de la trame de tête d'une supertrame. De la 2^e à la 8^e trame, l'information TMCC est délimitée par les mots W1 (devant) et W3 (derrière). Le mot W3 est lié au mot W2 par la relation $W3 = !W2$ (inversion binaire de W2). La fin de l'information TMCC correspond à la fin de la transmission d'une supertrame.

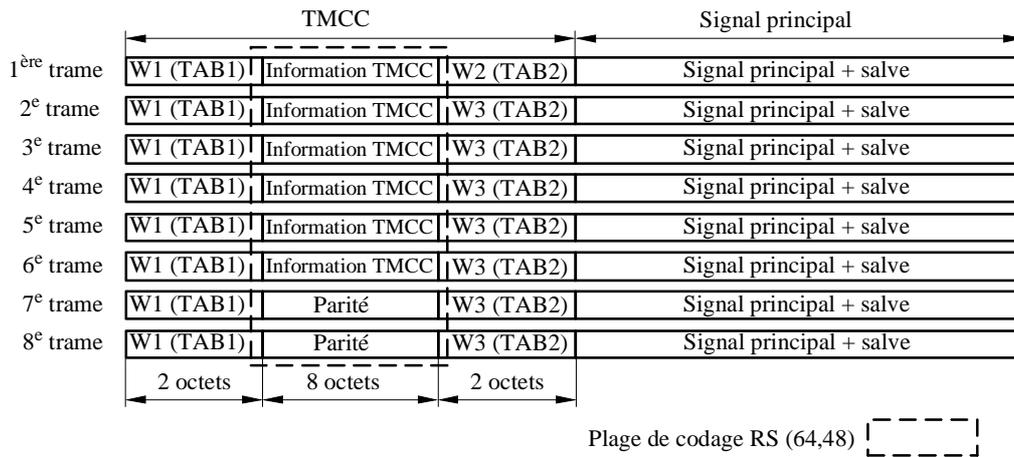
Les bits de parité sont ajoutés dans les 7^e et 8^e trames.

Les mots de synchronisation sont attribués comme suit:

W1: 0x1B95	W2: 0xA340	W3: 0x5CBF	(W3 = !W2)
w1: 0xECD28	w2: 0x0B677	w3: 0xF4988	(w3 = !w2)

Ici, W1, W2 et W3 sont les mots de synchronisation avant convolution et w1, w2 et w3 les mots de synchronisation après convolution.

FIGURE 6
Structure de la supertrame



W1: 0x1B95 W2: 0xA340 W3: 0x5CBF (W3 = !W2)
 W1: pour la synchronisation de trame W2: pour l'identification de supertrame

Rap 1227-06

6.2 Format de l'information TMCC

L'information TMCC occupe une longueur fixe de 384 octets, elle contient des données relatives au schéma d'attribution et de transmission des flux de transport pour chaque intervalle de transmission.

Lorsque le schéma de transmission est modifié, la nouvelle information TMCC est transmise à 2 supertrames avant que la modification ne devienne effective. Ainsi, l'intervalle de temps minimal de renouvellement de l'information TMCC est de deux supertrames. Pour garantir la bonne réception de cette information de contrôle, le récepteur doit toujours vérifier l'information TMCC. Le format de l'information TMCC est donné à la Fig. 7. Chaque élément d'information TMCC est décrit ci-après.

FIGURE 7
Format de l'information TMCC

Ordre de modification	Information mode de transmission/ intervalle	Information TS relatif/ intervalle	Tableau de conversion TS relatif/ TS_ID	Information de contrôle émetteur/ récepteur	Information étendue
5 bits	40 bits	144 bits	128 bits	5 bits	62 bits

Rap 1227-07

6.2.1 Ordre de modification

Cette information est incrémentée de «1» lorsque l'information TMCC est modifiée. Sa valeur revient à zéro après être passée à 11111.

6.2.2 Information mode de transmission/intervalle

Le mode de transmission décrit l'association du schéma de modulation et du code interne comme indiqué dans le Tableau 2. Il permet d'attribuer les modes de transmission 1 à 4 correspondant à l'ordre des modes de transmission dans le signal principal (conformément au schéma de modulation avec le nombre de phases et le système de codage interne avec une efficacité élevée). Lorsque le nombre de schémas de modulation est inférieur à 4, l'information mode de transmission correspondante est «1111».

FIGURE 8
Format de l'information mode de transmission/intervalle

Mode de transmission 1	Nombre d'intervalles attribués pour le mode de transmission 1	Mode de transmission 2	Nombre d'intervalles attribués pour le mode de transmission 2	Mode de transmission 3	Nombre d'intervalles attribués pour le mode de transmission 3	Mode de transmission 4	Nombre d'intervalles attribués pour le mode de transmission 4
4 bits	6 bits						

Rap 1227-08

TABLEAU 2
Mode de transmission

Valeur	Mode de transmission
0000	Réservé
0001	MDP-2(1/2)
0010	MDP-4(1/2)
0011	MDP-4(2/3)
0100	MDP-4(3/4)
0101	MDP-4(5/6)
0110	MDP-4(7/8)
0111	MDP-8 CT(2/3)
1000-1110	Réservé
1111	Non attribué

Le nombre d'intervalles attribué est le nombre d'intervalles vides attribués pour le mode de transmission indiqué dans le champ qui précède le champ contenant ce nombre. En ce qui concerne le nombre d'intervalles attribué à chaque mode de transmission, il faut s'assurer que le nombre total d'intervalles attribué simultanément dans une trame, soit égal à 48 si l'on considère la taille des unités d'intervalle de combinaison minimal (voir le Tableau 3).

TABLEAU 3

**Taille des unités d'intervalle de combinaison minimal associé
à chaque mode de transmission**

Mode de transmission	Unité d'intervalle de combinaison minimal	Nombre d'intervalles effectifs	Nombre d'intervalles vides
MDP-2(1/2)	4	1	3
MDP-4(1/2)	2	1	1
MDP-4(2/3)	3	2	1
MDP-4(3/4)	4	3	1
MDP-4(5/6)	6	5	1
MDP-4(7/8)	8	7	1
MDP-8 CT(2/3)	1	1	0

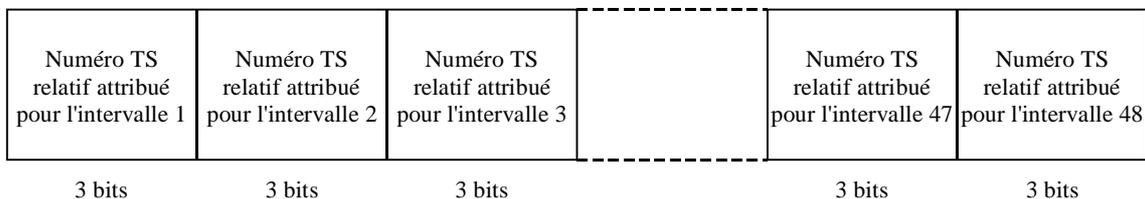
6.2.3 Information TS relatif/intervalle

L'information TS relatif/intervalle indique la relation entre le flux TS réel assigné et la position de l'intervalle. Cette information est transmise en séquence dans chaque intervalle depuis l'intervalle 1.

Le numéro de TS relatif occupe 3 bits afin de pouvoir transmettre 8 flux TS au maximum dans une porteuse modulée.

FIGURE 9

Format de l'information TS relatif/intervalle

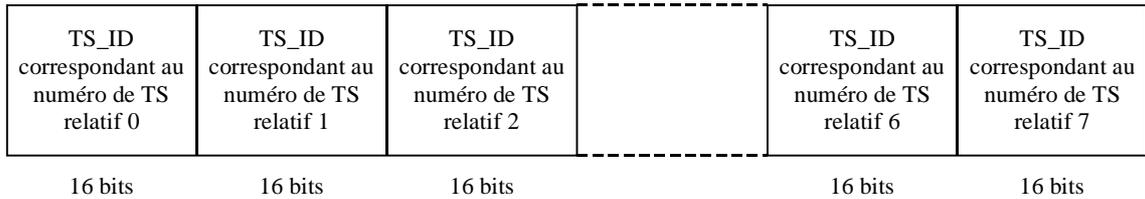


Rap 1227-09

6.2.4 Tableau TS relatif/TS_ID

Le tableau de correspondance TS relatif/TS_ID est utilisé lorsque le numéro relatif de flux TS est converti en identificateur TS_ID du système MPEG-2.

FIGURE 10
Format du tableau TS relatif/TS_ID

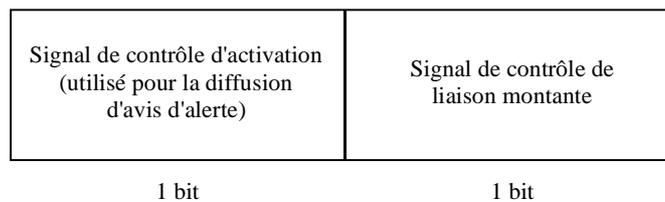


Rap 1227-10

6.2.5 Information de contrôle émetteur/récepteur

L'information de contrôle émetteur/récepteur est transmise comme signal de commande destiné à activer le récepteur en cas de diffusion d'avis d'alerte ou comme signal de commande de liaison montante.

FIGURE 11
Format de l'information de contrôle émetteur/récepteur

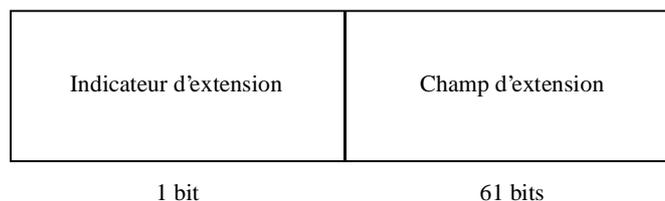


Rap 1227-11

6.2.6 Information d'extension

L'information d'extension sert à l'extension future du TMCC. En cas d'extension, l'indicateur d'extension sera mis à «1» et le champ d'extension de 61 bits qui le suit sera rempli par les informations utiles. Lorsque cet indicateur sera mis à «0», le champ d'extension sera rempli par des «1».

FIGURE 12
Format de l'information d'extension



Rap 1227-12

6.3 Code externe pour le TMCC

- Code RS (64,68)
- Codage par supertrame

- TAB1 et TAB2 ne sont pas codés
- Le code RS (64,68) découle du code RS (255,239).
191 zéros sont ajoutés aux données d'entrée: après codage ces zéros sont supprimés
- Polynôme générateur du code: $g(x) = (x + \lambda^0) (x + \lambda^1) (x + \lambda^2) \dots (x + \lambda^{15})$, dans lequel $\lambda = 02_h$
- Polynôme primitif: $p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$.

6.4 Dispersion d'énergie pour le TMCC

La dispersion d'énergie est une opération qui suit le codage RS et précède le codage convolutif. Le générateur de PN, est actif à partir du 3^e octet de la supertrame et fonctionne librement pendant la phase mots synchronisés, phase pendant laquelle le signal PN n'est pas ajouté. Ce système est décrit à la Fig. 14.

L'équation de la dispersion d'énergie est la suivante:

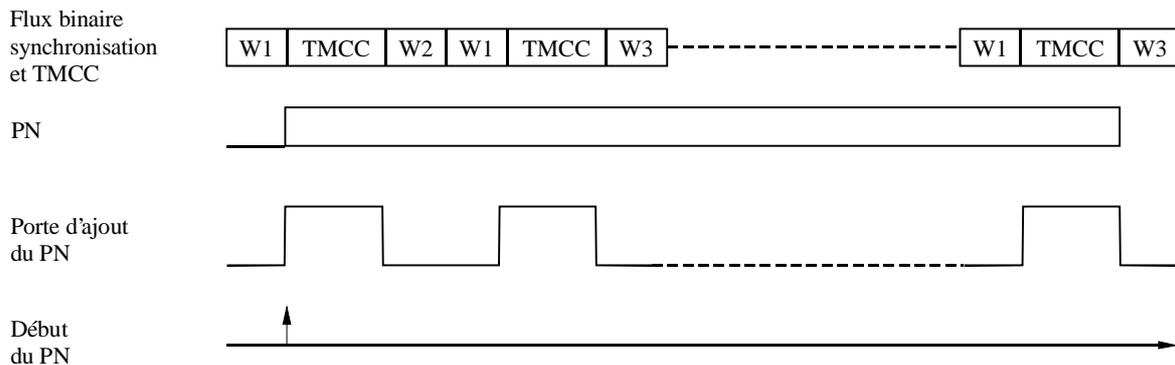
- polynôme générateur: $1 + x^{14} + x^{15}$
- valeur initiale des registres: (100101010000000).

FIGURE 13
Localisation de la fonction de dispersion d'énergie



Rap 1227-13

FIGURE 14
Ajout de la dispersion d'énergie



Rap 1227-14

7 Salve

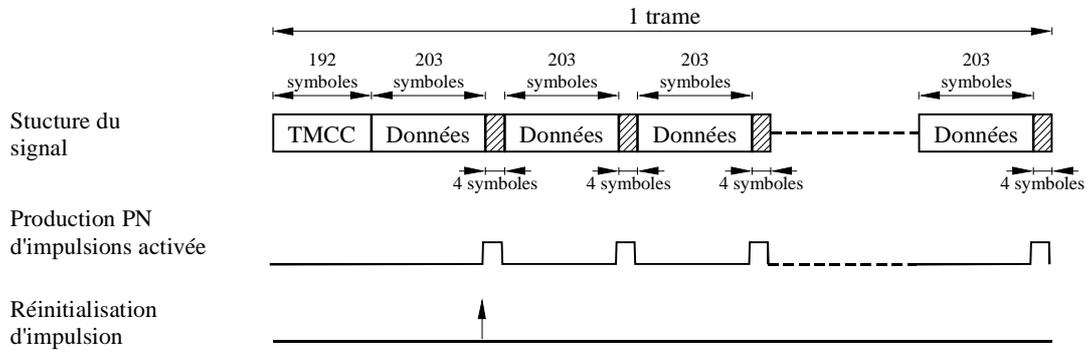
Afin de pouvoir recevoir les signaux TMCC et le signal principal à l'exception de la MDP-8, même lorsque le rapport C/N est mauvais, une salve de 4 symboles est insérée tous les 203 symboles du signal principal. La salve est un signal MDP-2 randomisé défini comme suit:

- 9^e PN ($G_{pn} = x^9 + x^4 + 1$, valeur initiale (111101101)).
- Réinitialisation par trame.
- Le générateur PN n'est pas actif pendant les salves.

Le schéma de la Fig. 16 illustre la production de salves au moyen du générateur PN. Comme le registre se trouve dans l'état qui suit immédiatement l'envoi d'une impulsion de réinitialisation, l'opérateur OU EXCLUSIF délivre à sa sortie le premier symbole de la salve dans les trames.

FIGURE 15

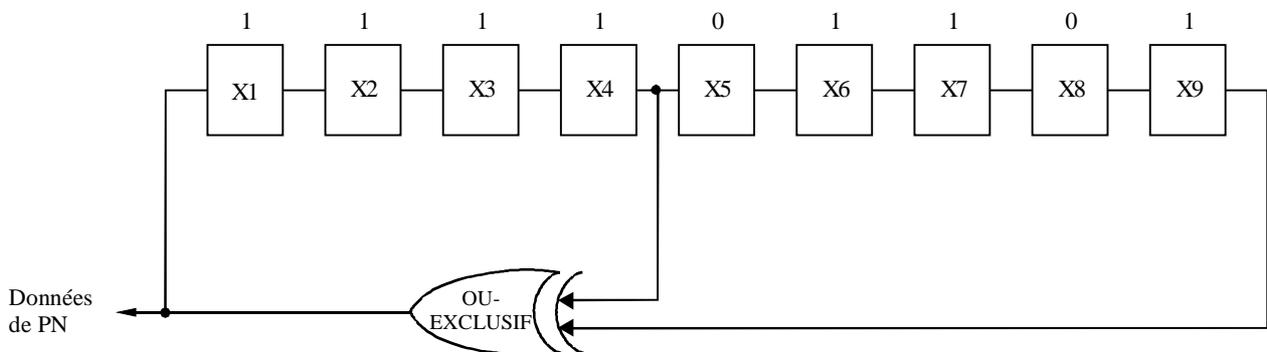
Multiplexage des salves et chronogramme de génération du PN



Rap 1227-15

FIGURE 16

Générateur de PN pour les salves



Rap 1227-16

8 Code interne

8.1 Signal principal

Le code interne à appliquer au signal principal peut être choisi parmi les codes suivants:

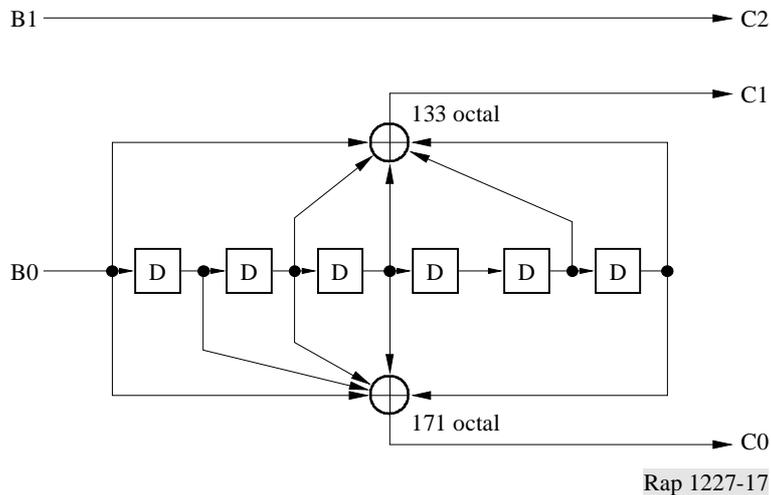
- code en treillis ($r = 2/3$) pour la MDP-8;
- code convolutif pour la MDP-4 ($r = 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8$),
($r = 1/2$ (code d'origine): longueur de contrainte = 7, polynôme générateur: 171, 133 octal).

Les codes dont les taux sont $2/3, 3/4, 5/6$ et $7/8$ sont perforés à partir du polynôme générateur d'origine;

- code convolutif pour la MDP-2 ($r = 1/2$): longueur de contrainte = 7, polynôme générateur: 171, 133 octal.

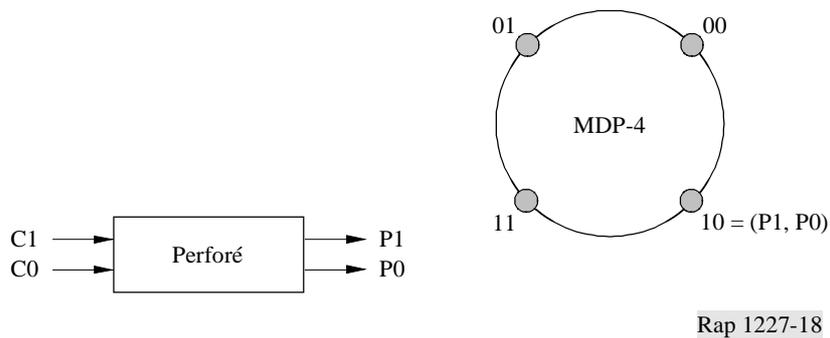
Le codeur convolutif est représenté à la Fig. 17. Les bits de sortie C0 et C1 sont produits à partir du flux binaire d'entrée B0. Le terme D correspond au temps de propagation d'un bit et les opérateurs exécutent une addition modulo 2. Pour le code convolutif, ces bits de sortie sont directement convertis en MDP-4 et en MDP-2 respectivement, comme indiqué dans les Fig. 18 et 19. Pour la MDP-8 CT, un autre bit (B1) est utilisé pour la conversion en MDP-8.

FIGURE 17
Codeur treillis/convolutif



La Fig. 18 représente le système de conversion perforée pour les signaux MDP-4. Le Tableau 4 est le tableau de conversion perforée. La phase perforation de chaque code concorde avec le début du premier intervalle attribué.

FIGURE 18
Conversion MDP-4



8.2 TMCC

Le code interne appliqué aux données TMCC utilise:

- un code convolutif pour la MDP-2 ($r = 1/2$): longueur de contrainte = 7, polynôme générateur: 171, 133 octal.

Le codeur convolutif est représenté à la Fig. 17, il reçoit en entrée les bits B0 et délivre en sortie les bits C0 et C1.

Ces bits de sortie sont directement convertis en MDP-2.

TABLEAU 4

Séquence de perforation

(P1 et P0 sont produits à partir de signaux d'entrée par la séquence de perforation)

Entrée	C1(133)	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
	C0(171)	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9
1/2	Séquence Perforation	O	O	O	O	O	O	O	O	O
		O	O	O	O	O	O	O	O	O
	P1	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
	P0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9
2/3	Séquence Perforation	O	O	O	O	O	O	O	O	O
		O	X	O	X	O	X	O	X	O
	P1	X1	Y3	X4	X5	Y7	X8	X9		
	P0	Y1	X2	X3	Y5	X6	X7	Y9		
3/4	Séquence Perforation	O	O	X	O	O	X	O	O	X
		O	X	O	O	X	O	O	X	O
	P1	X1	Y3	X4	Y6	X7	Y9			
	P0	Y1	X2	Y4	X5	Y7	X8			
5/6	Séquence Perforation	O	O	X	O	X	O	O	X	O
		O	X	O	X	O	O	X	O	X
	P1	X1	Y3	Y5	X6	Y8	Y10			
	P0	Y1	X2	X4	Y6	X7	X9			
7/8	Séquence Perforation	O	O	O	O	X	O	X	O	O
		O	X	X	X	O	X	O	O	X
	P1	X1	X3	Y5	Y7	X8	X10			
	P0	Y1	X2	X4	X6	Y8	X9			

O: bit de transmission, X: bit supprimé

9 Schéma de modulation

9.1 Signal principal

Le schéma de modulation utilisé pour le signal principal peut être choisi parmi les codes suivants:

- MDP-8 CT ($r = 2/3$, code pragmatique);
- MDP-4 à code convolutif ($r = 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8$);
- MDP-2 à code convolutif ($r = 1/2$).

Lorsque plusieurs schémas de modulation sont utilisés simultanément dans la même trame de transmission, ces schémas sont disposés par ordre croissant d'efficacité spectrale.

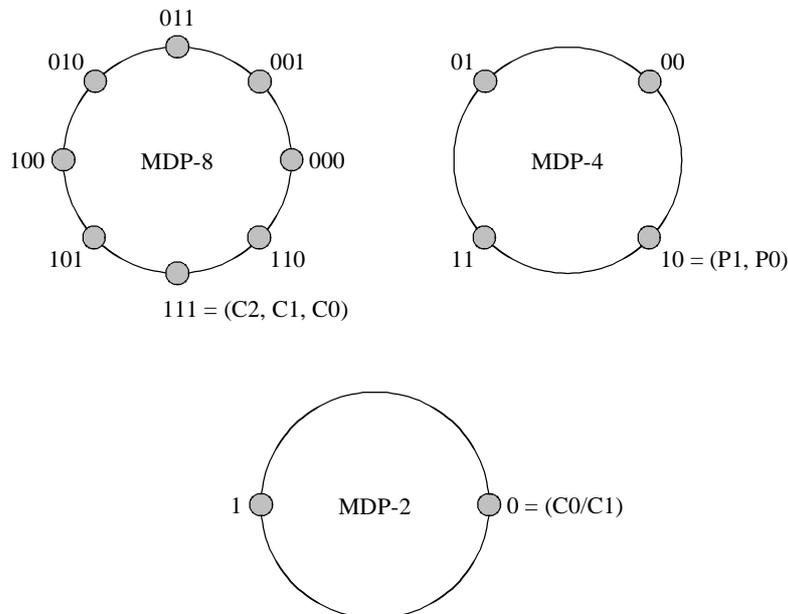
9.2 TMCC

Le schéma de modulation appliqué aux données TMCC est la MDP-2 à code convolutif ($r = 1/2$).

9.3 Conversion des symboles

La conversion des symboles pour chaque schéma de modulation est représentée à la Fig. 19. La définition de chaque bit est identique à celle de la Fig. 17. Pour la MDP-2, les bits codés C0 et C1 sont convertis dans cet ordre après conversion parallèle/série.

FIGURE 19
Conversion des symboles correspondant aux divers schémas de modulation



Rap 1227-19

9.4 Taux de décroissance

Au niveau du modulateur, on utilise pour le modelage de spectre:

- la racine carrée du cosinus biaisé,
- un taux de décroissance: 0,35,
- une égalisation d'ouverture en $x/\sin(x)$ pour le filtre d'émission.

ANNEXE 2

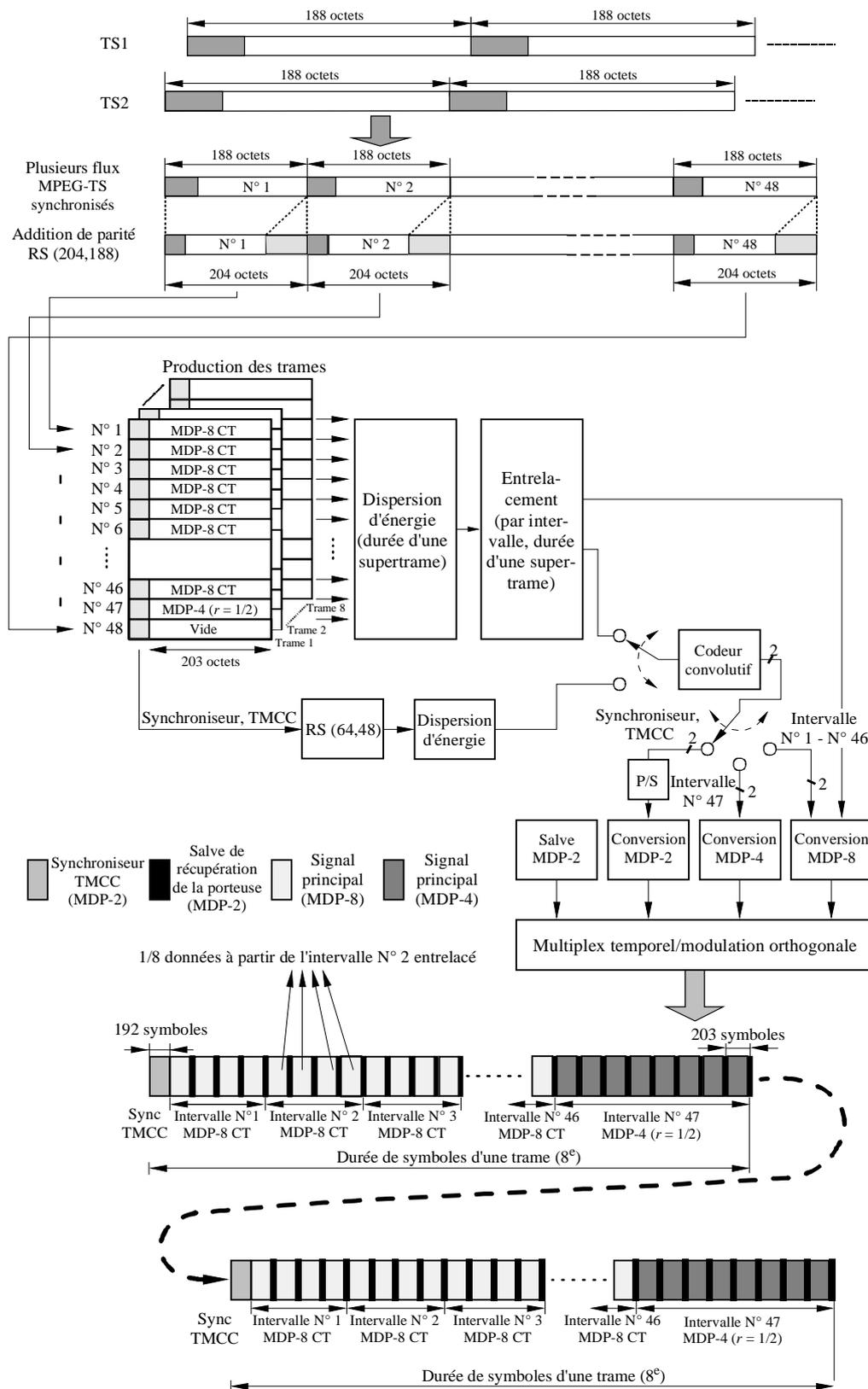
Production du signal de transmission et résultats des expériences de RDNIS effectuées au Japon

La Fig. 20 illustre un exemple de traitement du signal dans le système. La position absolue dans une trame, appelée intervalle, est une unité attribuée à chaque paquet conformément au schéma de modulation. La figure correspond au cas où 46 intervalles sont assignés à la MDP-8 CT et un intervalle à la MDP-4 ($r = 1/2$). Un intervalle vide, qui n'est pas utilisé pour la transmission de données, est attribué ici afin de disposer d'un traitement en bande de base constant lorsqu'on utilise simultanément des schémas de modulation de moindre efficacité spectrale. On suppose la présence de deux flux de transmission MPEG-TS.

Les flux MPEG-TS sont combinés en un seul flux binaire et codés selon un code CED externe RS (204,188). Chaque trame se compose de 48 intervalles, et 8 trames constituent une supertrame ce qui permet de définir la durée de la dispersion d'énergie et l'entrelacement. Dans certains cas, le schéma de modulation peut varier d'une supertrame à l'autre.

FIGURE 20

Exemple de système de production du signal de transmission



Rap 1227-20

Par ailleurs, les mots de synchronisation et les données TMCC sont traitées séparément par rapport au signal principal. Les mots de synchronisation sont utilisés pour la synchronisation des trames et des supertrames. Le premier octet de

chaque paquet, qui est le mot de synchronisation d'origine 0×47 des paquets MPEG-TS, est remplacé par plusieurs mots de synchronisation et le signal TMCC. Après démodulation, cet octet est de nouveau remplacé par le mot de synchronisation d'origine des paquets MPEG-TS. La protection du signal TMCC est assurée au moyen d'un code RS (64,48).

Le flux binaire des mots de synchronisation, du signal TMCC et du signal principal est appliqué à l'entrée d'un codeur convolutif. Le signal de sortie de ce codeur est ensuite appliqué à un convertisseur de modulation adapté aux schémas de modulation utilisés.

Un signal en rafale est inséré au multiplexeur temporel afin de pouvoir récupérer la porteuse de manière stable même lorsque le rapport C/N est mauvais.

Les résultats des expériences effectuées au Japon sur le système RDNIS décrit dans l'Annexe 1 sont donnés à la Fig. 21. Ces résultats montrent qu'il est possible de recevoir deux programmes de TVHD. En outre, il est possible de recevoir dans les modes 2 et 3 des programmes radiophoniques lorsque le rapport C/N est très mauvais.

FIGURE 21

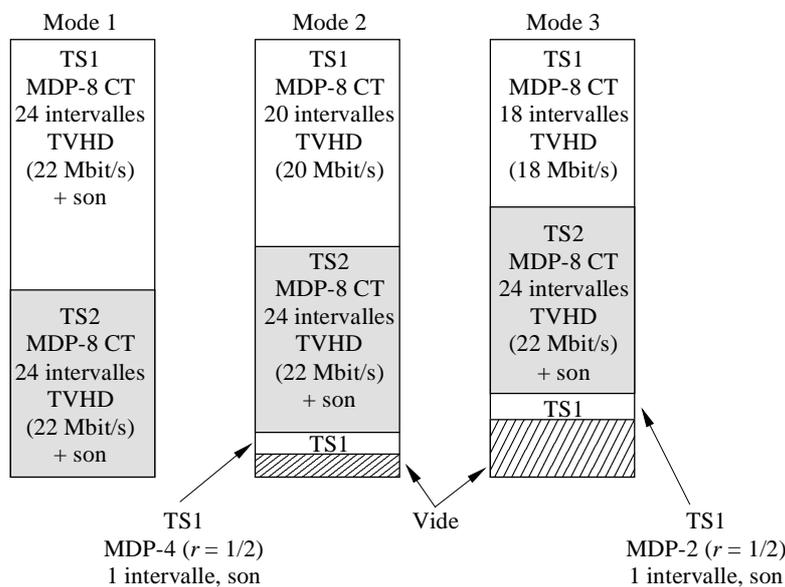
Exemple de système et récapitulatif des résultats expérimentaux

Débit de symboles (MBd)	Débit maximum d'information ⁽¹⁾ (Mbit/s)	Schéma de modulation ⁽²⁾
22,152	40,044	MDP-8 TC
26,988	48,786	MDP-4 ($r = 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8$),
28,860	52,170	MDP-2 ($r = 1/2$)

⁽¹⁾ Lorsque tous les intervalles sont attribués pour la MDP-8 CT.

⁽²⁾ 4 schémas de modulation peuvent être choisis parmi les schémas indiqués.

a) Systèmes donnés à titre d'exemple



b) Structure de trame expérimentale (26,988 MBd)

Schéma de modulation	C/N limite pour le service
MDP-8 CT	Environ 11 dB
MDP-4 ($r = 1/2$)	Environ 4 dB
MDP-2 ($r = 1/2$)	Environ 1 dB

c) Performance

ANNEXE 3

Comparaison entre des systèmes de radiodiffusion multiprogramme par satellite et le système RDNIS

Le Tableau 5 est un tableau comparatif, dans le cadre des services multimédias perfectionnés, des systèmes de radiodiffusion multiprogramme par satellite décrits dans la Recommandation UIT-R BO.1294.

TABLEAU 5

Tableau comparatif des systèmes numériques multiprogramme et la RDNIS

	Système A	Système B	Système C	RDNIS
Schéma de modulation	MDP-4	MDP-4	MDP-4	MDP-8 CT, MDP-4, MDP-2
Débit de symboles (MBd)	Non spécifié	Fixe 20	Variable 19,5 et 29,3	22,152 26,988 28,860
Largeur de bande nécessaire (à -3 dB) (MHz)	Non spécifié	20	19,5 et 29,3	27/33/36 (99% de l'énergie dans la bande)
Taux de décroissance	0,35 (cosinus biaisé)	0,2 (cosinus biaisé)	0,55 et 0,33 (filtre de Butterworth du 4 ^e ordre)	0,35 (cosinus biaisé)
CED (Code externe)	RS (204,188)	RS (146,130)	RS (204,188)	RS (204,188)
CED (Code interne)	Convolutif	Convolutif	Convolutif	Convolutif, à treillis (MDP-8: TCM 2/3)
Longueur de contrainte	$K = 7$	$K = 7$	$K = 7$	$K = 7$
Débit de code interne	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	1/2, 2/3, 6/7	1/2, 2/3, 3/4, 3/5, 4/5, 5/6, 5/11, 7/8	1/2, 3/4, 2/3, 5/6, 7/8
Dispersion d'énergie	PRBS: $1 + x^{14} + x^{15}$		PRBS: $1 + x + x^3 + x^{12} + x^{16}$	PRBS: $1 + x^{14} + x^{15}$
Réinitialisation d'horloge	Avant le codeur RS		Après le codeur RS	Après le codeur RS
Entrelacement	Convolutif (profondeur = 12)			Bloc (profondeur = 8)
Contrôle de transmission				TMCC
Structure de la trame				48 intervalles/trame 8 intervalles/supertrame
Taille des paquets (octets)	188	130	188	188
Couche Transport	MPEG-2	Non MPEG	MPEG-2	MPEG-2