

RECOMMANDATION UIT-R M.1079*

**EXIGENCES IMPOSÉES À LA QUALITÉ DE LA PAROLE ET DES DONNÉES DANS
LA BANDE VOCALE POUR LES TÉLÉCOMMUNICATIONS MOBILES
INTERNATIONALES-2000 (IMT-2000)**

(Question UIT-R 39/8)

(1994)

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1. Introduction	2
2. Objet	2
3. Structure de la Recommandation	3
4. Documents de référence	3
5. Définitions.....	3
5.1 Qualité de transmission de la parole	3
5.2 Qualité de la connexion	3
5.3 Continuabilité du service	4
5.4 Fiabilité	4
5.5 Directives de conception.....	4
5.6 Directives de gestion.....	4
5.7 Débit binaire brut pour la parole.....	5
6. Considérations.....	5
7. Recommandations	5
7.1 Principales exigences de qualité vocale.....	6
7.1.1 Qualité subjective.....	6
7.1.2 Qualité de transmission de la parole «naturelle» et reconnaissance du locuteur	6
7.1.3 Facilité de la conversation.....	6
7.1.4 Perte d'interactivité due au temps de propagation sur le circuit de transmission de la parole	6
7.1.5 Absence d'écho	6
7.1.6 Uniformité dans différents environnements.....	6
7.1.7 Effets du transcodage	6
7.1.8 Qualité des connexions de bout en bout.....	7
7.1.9 Qualité acoustique du combiné	7
7.1.10 Tonalités de progression de l'appel, annonces et musique	7
7.1.11 Reconnaissance de la voix	7
7.1.12 Transfert.....	7
7.1.13 Débit binaire brut pour la parole	7
7.1.14 Fiabilité	7
7.1.15 Bruit de fond acoustique	7
7.1.16 Coût et consommation en énergie	7
7.1.17 Interconnexion des utilisateurs des IMT-2000 dans différents réseaux	7
7.1.18 Objectifs fixés pour les codecs vocaux	7
7.1.19 Test de la qualité vocale.....	8
7.2 Principales exigences pour les données en bande vocale	8
7.2.1 Exigences en matière de signalisation multifréquence DTMF	8
7.2.2 Exigences pour les données en bande vocale.....	8
7.3 Exigences en matière de qualité pour la partie radioélectrique.....	8
7.3.1 Exigences en matière de qualité vocale	8
7.3.2 Exigences en matière de qualité de la connexion.....	8
Annexe 1 – Objectifs pour les codecs vocaux des IMT-2000	9
Annexe 2 – Etablissement de modèles d'erreurs pour les interfaces radioélectriques des IMT-2000	11
Annexe 3 – Modèle d'erreur intérimaire Bellcore pour les IMT-2000	16

* Cette Recommandation doit être portée à l'attention du Secteur de la normalisation des télécommunications de l'UIT.

1. Introduction

Les télécommunications mobiles internationales-2000 (IMT-2000) sont des systèmes mobiles de la troisième génération (SMTG) dont l'entrée en service est prévue autour de l'an 2000 selon la conjoncture. Ils permettront d'accéder, au moyen d'une ou plusieurs liaisons radioélectriques, à un vaste éventail de services de télécommunication assurés par les réseaux de service fixe (par exemple, RTPC/RNIS), ainsi qu'à divers services mobiles spécifiques.

Ces systèmes font appel à différents types de stations mobiles, reliées à des réseaux terrestres ou des réseaux à satellites. Ces stations peuvent être conçues pour être utilisées en poste fixe ou en poste mobile.

Les principales caractéristiques des IMT-2000 sont les suivantes:

- une grande communauté de conception à l'échelle mondiale,
- une compatibilité des services au sein des IMT-2000 et avec les réseaux fixes,
- une qualité élevée,
- la possibilité d'utiliser dans le monde entier la même station de poche.

Les IMT-2000 sont définies par une série de Recommandations interdépendantes de l'UIT dont fait partie la présente Recommandation.

Cette Recommandation s'inscrit dans le processus de spécification des interfaces radioélectriques des IMT-2000. Les IMT-2000 seront exploitées dans les bandes attribuées à l'échelle mondiale par la Conférence administrative mondiale des radiocommunications chargée d'étudier les attributions de fréquences dans certaines parties du spectre (Malaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) (1 885-2 025 et 2 110-2 200 MHz, les composantes spatiales étant limitées aux bandes 1 980-2 010 et 2 170-2 200 MHz).

Les IMT-2000 sont des systèmes complexes et leur représentation sous forme de Recommandations évolue. Afin de ne pas freiner les progrès accomplis dans ce domaine, il est préférable d'élaborer une série de Recommandations portant sur les divers aspects de ces systèmes, tout en s'efforçant d'éviter les contradictions entre elles. Toutefois, si tel était le cas, ces contradictions seraient levées par de nouvelles Recommandations, ou par la révision de Recommandations existantes.

La présente Recommandation définit les exigences imposées à la qualité de transmission de la parole, des données en bande vocale, à la qualité des connexions et à la qualité de fonctionnement de l'interface radioélectrique qui doivent être satisfaites dans les IMT-2000.

La présente Recommandation comporte également des Annexes sur les objectifs de qualité de fonctionnement des codecs vocaux et sur les modèles d'erreur au niveau de l'interface radioélectrique destinés au test des codecs.

D'autres objectifs concernant la qualité de transmission sont spécifiés dans le projet de Recommandation UIT-T G.174.

2. Objet

La présente Recommandation définit la qualité de transmission de la parole et les exigences en matière de qualité pour les IMT-2000, y compris certains aspects propres à l'utilisation de satellites.

La présente Recommandation donne la liste des Recommandations de base auxquelles il faut se conformer pour obtenir une qualité de transmission de la parole comparable à celle d'un réseau du service fixe en définissant une parole «naturelle», exempte de retards ou d'échos excessifs par exemple, afin de permettre aux utilisateurs de converser aisément en utilisant le réseau IMT-2000, tout en tenant compte de tous les types de dégradations prévisibles, telles que celles dues au transcodage et au bruit ambiant.

La présente Recommandation définit aussi, en termes de temps d'établissement de l'appel et de probabilité de transfert, la qualité d'une connexion, qualité à obtenir dans les réseaux IMT-2000 et que l'utilisateur s'attendra à trouver dans un réseau dont la qualité est comparable à celle d'un réseau du service fixe.

En plus de la parole, la présente Recommandation traite de la transmission de données en bande vocale.

L'Annexe 1 précise les paramètres à utiliser dans les codecs vocaux pour les applications IMT-2000 et les Annexes 2 et 3 définissent un modèle d'erreur à utiliser pour les essais et le choix des codecs vocaux à utiliser dans les IMT-2000.

3. Structure de la Recommandation

La présente Recommandation spécifie la qualité de transmission de la parole, la qualité des connexions, la qualité de transmission des données en bande vocale, les exigences pour les autres services et les exigences de qualité radio. Il y a aussi d'importantes Annexes relatives aux objectifs pour les codecs vocaux des IMT-2000 et les modèles d'erreur pour l'essai et le choix des codecs vocaux.

4. Documents de référence

Les documents de l'UIT suivants contiennent des renseignements sur les IMT-2000 en liaison avec la présente Recommandation:

- Recommandation UIT-T G.114: Temps de transmission moyen dans un sens
- Recommandation UIT-T G.131: Stabilité et échos
- Recommandation UIT-T G.173: Le service téléphonique dans les réseaux mobiles terrestres publics numériques: aspects relatifs à la planification de la transmission
- Recommandation UIT-T G.726: Modulation par impulsions et codage différentiel adaptatif (MICDA) à 40, 32, 24, 16 kbit/s
- Recommandation UIT-R M.1034: Exigences imposées à la ou aux interfaces radioélectriques des télécommunications mobiles internationales-2000 (IMT-2000)
- Recommandation UIT-T E.800: Vocabulaire de la qualité de service et de la sûreté de fonctionnement
- Recommandation UIT-T E.770: Concept de qualité d'écoulement du trafic en cas d'interconnexion des réseaux mobiles terrestres et des réseaux fixes
- Recommandation UIT-T E.771: Paramètres de qualité d'écoulement du trafic réseau et valeurs cibles pour les services mobiles terrestres avec commutation de circuits
- Recommandation UIT-R M.816: Cadre de description pour des services assurés par les télécommunications mobiles internationales-2000 (IMT-2000)
- Recommandation UIT-R M.818: Utilisation des satellites dans les télécommunications mobiles internationales-2000 (IMT-2000)
- Projet de Recommandation UIT-T G.174: Qualité technique de transmission des systèmes de communication personnelle terrestre sans fil
- Recommandation UIT-T P.79: Calcul des équivalents pour la sonie

5. Définitions

5.1 Qualité de transmission de la parole

La qualité de transmission de la parole exprime le degré de satisfaction de l'utilisateur en ce qui concerne la qualité de transmission de la conversation téléphonique. Cette qualité dépend de la qualité de transmission sur tout le trajet emprunté par la conversation depuis le locuteur à une extrémité de la connexion jusqu'au correspondant à l'autre extrémité et on peut distinguer deux types de qualité: la qualité qui dépend principalement des qualités acoustiques du combiné et la qualité qui dépend principalement du support de transmission. Il convient de tenir compte également des services de télécommunication où une attention spéciale doit être accordée à la qualité de transmission de la parole, tels que l'audioconférence et la messagerie vocale.

5.2 Qualité de la connexion

La qualité de la connexion est exprimée dans la Recommandation UIT-T E.770 en termes de qualité d'écoulement du trafic (QET). Les paramètres de QET sont le retard de signalisation pour l'établissement de l'appel et la libération, la probabilité de blocage de bout en bout, la probabilité d'échec de transfert, etc.

5.3 Continuabilité du service

La continuabilité du service est définie dans la Recommandation UIT-T E.800 comme «la probabilité pour qu'un service, une fois obtenu, continue à être assuré dans une communication, sous des conditions données» (évanouissements, effet d'écran et brouillage dans le même canal par exemple).

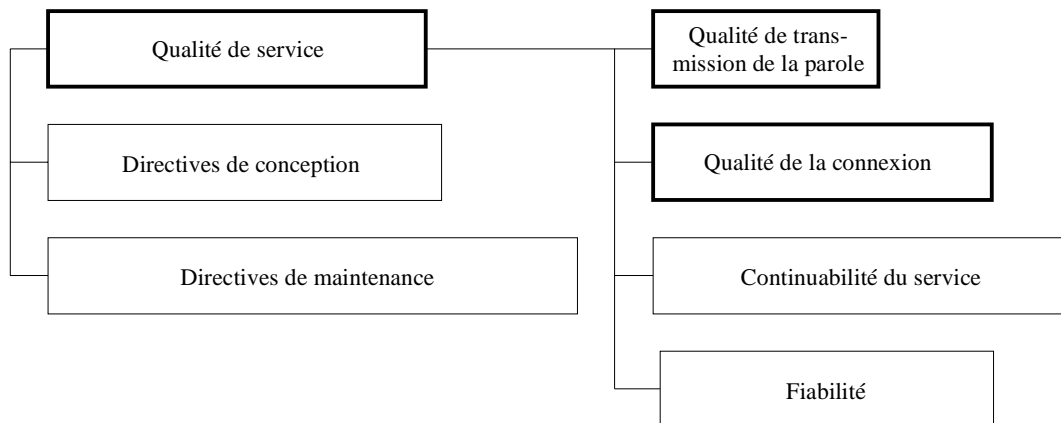
5.4 Fiabilité

La fiabilité est définie dans la Recommandation UIT-T E.800 comme «la probabilité pour qu'une entité puisse accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné». Les anomalies dans le réseau téléphonique peuvent être classées suivant deux types. Le premier correspond à une situation où l'utilisateur constate une anomalie à petite échelle dans un segment du réseau autre que le segment propre de l'utilisateur; dans ce cas le service peut être rétabli si l'utilisateur réitère immédiatement son appel. Le second correspond à une anomalie qui se produit dans le segment de l'utilisateur ou si une anomalie à grande échelle se produit dans le segment réseau, auquel cas le service ne peut être assuré même si l'utilisateur réitère sans cesse ses appels. Une mesure de la fiabilité du segment de l'utilisateur est le taux d'échec et une mesure du segment réseau est l'indisponibilité.

5.5 Directives de conception

En vue de mettre en place des services de télécommunication qui satisfont aux critères de qualité de service, il faut disposer de directives pour la conception du réseau. La qualité des systèmes qui sont conçus conformément à ces directives devra pouvoir satisfaire aux Recommandations ci-après (voir la Fig. 1).

FIGURE 1
Un exemple de structure fonctionnelle de qualité
pour les services de télécommunication



Domaine de la Recommandation UIT-R M.1079
(EQT: exigences de qualité)

D01

5.6 Directives de gestion

Il faut disposer de directives pour la maintenance et l'exploitation des installations. C'est sur la base de ces directives qu'un fournisseur de services ou un opérateur de réseau assurera la maintenance du service, estimera la qualité en vue d'améliorer le service et apportera des corrections.

5.7 Débit binaire brut pour la parole

Le débit binaire brut pour la parole est défini comme étant le débit binaire nécessaire pour que le codec vocal satisfasse aux conditions de qualité vocale, il inclut les bits de redondance pour la correction d'erreur de codage sur les bits de parole et les bits internes de synchronisation s'ils sont nécessaires, mais pas le mot de synchronisation pour la transmission radio, le canal de commande de la voie pour le traitement de l'appel et la télésurveillance du canal radio.

6. Considérations

Lors de l'élaboration de cette Recommandation, les facteurs ci-après ont été pris en considération:

- a) l'UIT-R a procédé à l'étude des télécommunications mobiles internationales-2000 (IMT-2000) et a élaboré les Recommandations UIT-R M.687, UIT-R M.816, UIT-R M.817, UIT-R M.818, UIT-R M.819, UIT-R M.1034, UIT-R M.1035, UIT-R M.1036 et UIT-R M.1078;
- b) les études de l'UIT-R se poursuivent et sont effectuées par le Groupe d'action 8/1 des radiocommunications conformément à la Décision UIT-R 116;
- c) les IMT-2000 englobent des systèmes différents;
- d) les utilisateurs s'attendent à ce que la qualité de parole, la qualité de transmission de l'information, la fiabilité de la connexion et un taux de blocage soient comparables à ceux que fournissent les réseaux du service fixe pour les mêmes services, tout en reconnaissant les limitations qu'impose l'environnement radioélectrique;
- e) la disponibilité du service dépendra d'un certain nombre de facteurs dont le type de station mobile, la vitesse de déplacement et des facteurs géographiques; par exemple, stations portatives ou montées sur véhicule, utilisation à l'intérieur ou à l'extérieur de bâtiments, zones résidentielles ou d'affaires, zones urbaines, suburbaines ou rurales, etc.;
- f) les Recommandations pertinentes de l'UIT-T et les études en cours;
- g) en ce qui concerne les stations mobiles, il existe un besoin de mobilité entre les réseaux de télécommunication mobiles terrestres publics de différents pays et entre réseaux d'un même pays;
- h) les IMT-2000 offriront des services téléphoniques et non téléphoniques qui s'interconnecteront avec le RTPC, le RNIS, le RNIS-B et d'autres réseaux publics;
- j) dès le début de leur mise en service les IMT-2000 seront très utilisées pour la transmission de données en bande vocale même dans les pays en développement;
- k) la pénétration des IMT-2000 dans le marché des services téléphoniques dépendra fortement du choix du codec vocal et de la qualité vocale associée. Si cette qualité est médiocre et le temps de propagation dans la voie téléphonique trop grand, l'adoption des IMT-2000 par le grand public pourrait ne pas atteindre le niveau attendu;
- l) cet aspect n'a pas été pleinement considéré pour les systèmes de première et de seconde génération car ces systèmes sont utilisés par des personnes pour lesquelles la mobilité est impérative. Dans un marché de masse où beaucoup d'utilisateurs sont dans un environnement statique ou semi-mobile, la mobilité peut ne pas être suffisante pour justifier une qualité médiocre et un temps de propagation excessif, dans une compétition avec un réseau du service fixe offrant une haute qualité;
- m) dans un marché de masse soumis à la concurrence, un nombre important d'appels seront du type mobile à mobile ou utiliseront des connexions en série et, dans ces circonstances, la qualité adéquate doit être maintenue;
- n) les utilisateurs s'attendent à ce que le niveau de qualité vocale soit conservé dans des connexions à travers le RTPC, impliquant un transcodage MIC à 64 kbit/s, des équipements de multiplication des circuits numériques (EMCN), un codage MICDA et des circuits analogiques;
- o) les études de qualité vocale et l'impact du temps de propagation audio sont en cours à l'UIT-T et dans d'autres organismes.

7. Recommandations

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT recommande de satisfaire les exigences suivantes.

7.1 Principales exigences de qualité vocale

7.1.1 Qualité subjective

La qualité vocale doit être comparable à celle du réseau fixe pour des utilisateurs d'âge, de sexe et de langage différents, conformément aux exigences décrites ci-après (référence au projet de Recommandation UIT-T G.174).

7.1.2 Qualité de transmission de la parole «naturelle» et reconnaissance du locuteur

La parole doit avoir un son analogue à la parole humaine naturelle. Il est essentiel que l'utilisateur soit en mesure de reconnaître la voix des correspondants familiers.

7.1.3 Facilité de la conversation

Les abonnés doivent trouver le système facile à utiliser pour des tâches qui requièrent l'échange d'information dans des conversations sur la connexion, y compris lorsqu'il y a double parole, où les deux interlocuteurs parlent en même temps.

7.1.4 Perte d'interactivité due au temps de propagation sur le circuit de transmission de la parole

Les conversations entre les usagers ne doivent pas souffrir d'un manque d'interactivité correcte dû à un temps de propagation excessif dans la connexion. Ce temps peut gêner les usagers et notamment rendre difficiles les conversations interactives. Il est donc crucial de contrôler le temps de propagation produit par les IMT-2000.

Pour un réseau mobile terrestre public numérique avec une réduction d'écho suffisante, la Recommandation UIT-T G.173 spécifie un objectif de 20 ms pour le retard moyen dans un seul sens et le retard dans un seul sens inférieur ou égal à 40 ms. Dans la partie satellite d'une connexion, le retard dans un seul sens peut dépasser 40 ms en raison du temps de propagation (voir la Recommandation UIT-T G.114).

Même s'il existe un temps de propagation supérieur dans une connexion par satellite, le temps de propagation dans l'accès hertzien au réseau doit être réduit au minimum pour la majorité des appels utilisant des connexions terrestres.

Une étude complémentaire est nécessaire sur la façon de distribuer le temps de propagation autorisé entre le codec vocal et la couche physique radioélectrique.

7.1.5 Absence d'écho

La question de la protection contre les échos dans l'environnement IMT-2000 est complexe. L'expérience acquise avec d'autres systèmes doit être traitée avec précaution. Les temps de propagation qui peuvent être considérés comme tolérables dans des systèmes autonomes peuvent ne pas être acceptables pour les IMT-2000. Il convient de se reporter au projet de Recommandation UIT-T G.174.

En maintenant le temps d'accès suffisamment bas, on peut éviter le recours à la réduction d'écho et réaliser ainsi une économie importante.

7.1.6 Uniformité dans différents environnements

Lorsque l'accès est obtenu par différentes interfaces radioélectriques dans différents environnements (par exemple, picocellules, mégacellules, etc.), les mêmes exigences de qualité vocale doivent être utilisées. L'abonné doit constater une uniformité de la qualité vocale à travers tout le système.

On admet que des codecs plus complexes consommant plus d'énergie peuvent être nécessaires pour obtenir la qualité vocale requise pour les IMT-2000 dans les mégacellules où, compte tenu des impératifs d'efficacité spectrale, les débits binaires sont plus faibles.

7.1.7 Effets du transcodage

Les connexions de bout en bout dans les IMT-2000 peuvent classiquement débiter dans un type de cellule, traverser un réseau du service fixe et se terminer dans un autre type de cellule, avec un passage éventuel par une composante à satellite soit dans l'IMT-2000 soit dans le réseau du service fixe. Si différents codecs vocaux sont utilisés dans ces différents environnements d'accès hertzien et dans le réseau fixe, il se produira une «concaténation» de divers codecs vocaux avec comme conséquence une baisse de la qualité vocale due au transcodage nécessaire.

Il conviendrait d'examiner les techniques qui réduiront la nécessité des transcodages et leur impact.

Les effets du transcodage devraient être totalement pris en compte pour atteindre les objectifs de qualité vocale fixés dans la présente Recommandation.

7.1.8 Qualité des connexions de bout en bout

Les exigences de qualité vocale doivent être satisfaites pour les connexions complètes de bout en bout, en tenant compte des dégradations introduites par les interfaces radioélectriques (avec des conditions types de brouillage et de propagation), le transcodage, le temps de propagation et les échos dans la connexion, etc.

7.1.9 Qualité acoustique du combiné

La qualité acoustique du combiné joue un rôle important pour déterminer la qualité vocale globale dans les systèmes hertziens. Tout d'abord, il faut s'assurer que les niveaux des signaux à l'émission et à la réception ainsi que l'effet local sont compatibles avec la téléphonie filaire conventionnelle. Les niveaux de signal sont habituellement spécifiés en termes d'indices de sonie (voir la Recommandation UIT-T P.79) et des valeurs convenables sont données dans le projet de Recommandation UIT-T G.174. Toutefois, d'autres considérations comme la forme du combiné (position du microphone par rapport à la bouche de l'utilisateur et position de l'écouteur sur l'oreille de l'utilisateur) sont également importantes, particulièrement dans des conditions de fonctionnement en milieu bruyant.

7.1.10 Tonalités de progression de l'appel, annonces et musique

Les tonalités de progression d'appels, les annonces du réseau ou la musique d'attente ne doivent produire aucun effet désagréable.

7.1.11 Reconnaissance de la voix

Une attention particulière doit être accordée à la nécessité de préserver les aspects de la parole qui sont utilisés dans les systèmes de reconnaissance vocale fonctionnant déjà de façon satisfaisante avec la parole issue du réseau filaire et dans les futurs systèmes de reconnaissance vocale.

7.1.12 Transfert

L'utilisateur ne doit pas s'apercevoir des effets du changement de relais sur la qualité de la parole ou la qualité de transmission des données en bande vocale.

7.1.13 Débit binaire brut pour la parole

Dans le choix du codec vocal, il convient de prendre en considération le débit binaire brut pour la parole (de préférence au débit binaire du codec), nécessaire à l'interface radioélectrique pour numériser la parole et la correction d'erreur nécessaire (voir le § 5.7).

On peut aussi utiliser pour le choix du codec vocal le facteur de qualité constitué par la capacité résultante du système.

7.1.14 Fiabilité

L'invulnérabilité aux erreurs aléatoires, aux paquets d'erreurs et aux taux d'erreur binaire élevés dans toute la zone de service est un facteur important. La hiérarchie des combinaisons de codec vocal/codec de voie possibles peut différer suivant que les conditions sont bonnes ou marginales.

7.1.15 Bruit de fond acoustique

On peut s'attendre à ce que les environnements des IMT-2000 produisent un niveau de bruit de fond acoustique plus élevé que pour les systèmes filaires, dû par exemple au trafic routier, à la foule dans les gares de chemins de fer ou aux arrêts d'autobus, etc. Le codec vocal et les transducteurs associés devraient par conséquent être insensibles à ces bruits de fond acoustiques.

Le codec vocal doit également être insensible à la présence d'autres locuteurs en arrière-plan.

7.1.16 Coût et consommation en énergie

Les propositions concernant le codage vocal et le codage de la voie doivent également s'appuyer sur les facteurs de coût, de consommation en énergie et de complexité.

7.1.17 Interconnexion des utilisateurs des IMT-2000 dans différents réseaux

Toute dégradation de la qualité vocale résultant du transcodage entre deux utilisateurs des IMT-2000 devrait être réduite à un minimum.

7.1.18 Objectifs fixés pour les codecs vocaux

L'Annexe 1 contient un tableau fixant les valeurs des paramètres pour les codecs vocaux destinés aux IMT-2000; ces valeurs sont données en terme de valeurs requises et d'objectif.

7.1.19 Test de la qualité vocale

L'aptitude des IMT-2000 à satisfaire aux exigences de qualité vocale qui sont données ci-dessus devrait être jugée au moyen d'une méthode de sélection réaliste tenant compte des dégradations sur le canal radioélectrique du système mobile.

Les essais devraient inclure des conversations bidirectionnelles dans lesquelles les locuteurs accomplissent des tâches réalistes qui utilisent pleinement le canal radioélectrique.

Toute la gamme des scénarios de connexion doit être représentée (liaisons mobile à fixe, mobile à mobile, inclusion de liaisons par satellite dans l'interface mobile, inclusion de liaisons par satellite dans le réseau, etc.). Les dégradations du système telles que le transfert, les échos dans le réseau et les temps de propagation doivent faire partie des essais.

Pendant les essais, des erreurs sont introduites dans la connexion vocale sur la base d'un modèle d'erreur associé à l'interface radioélectrique. La technologie de l'interface radioélectrique n'a pas encore été choisie et par conséquent un modèle d'erreur intérimaire doit être utilisé.

Le modèle d'erreur intérimaire est le modèle Bellcore décrit à l'Annexe 3, qui est représentatif des paquets d'erreurs constatés avec les utilisateurs de systèmes mobiles en déplacement lent ou stationnaires. Le Groupe d'action 8/1 des radiocommunications prévoit d'élaborer d'autres modèles d'erreur adaptés aux technologies de l'interface radioélectrique développées pour les IMT-2000 et à la gamme des environnements et des vitesses de véhicules prévisibles pour ces systèmes. L'établissement des modèles d'erreur pour les interfaces IMT-2000 est expliqué à l'Annexe 2.

7.2 Principales exigences pour les données en bande vocale

7.2.1 Exigences en matière de signalisation multifréquence DTMF

La transmission d'information DTMF doit être assurée par les IMT-2000 avec une qualité comparable à celle d'un réseau du service fixe (voir le projet de Recommandation UIT-T G.174).

Les tonalités DTMF peuvent provenir soit du clavier du combiné soit d'un dispositif séparé à couplage acoustique.

Il serait souhaitable de transmettre les tonalités DTMF de façon transparente à travers le codec vocal afin de réduire le coût du combiné et de l'infrastructure du réseau. Toutefois, dans ce cas, il est possible que les spécifications en matière d'erreur ne soient pas respectées en raison de dégradations produites par l'interface radioélectrique. Cela peut également entraîner l'exécution par le codec vocal d'une tâche non nécessaire. En conséquence, les tonalités DTMF qui entrent dans le combiné par couplage acoustique seront reconnues comme telles et acheminées dans les IMT-2000 comme des signaux de données, à moins que les spécifications en matière d'erreur ne puissent être respectées dans une transmission transparente.

7.2.2 Exigences pour les données en bande vocale

Les signaux de données en bande vocale traités par les IMT-2000 doivent être transmis avec une qualité comparable à celle des réseaux du service fixe (voir le projet de Recommandation UIT-T G.174). Un exemple important de données en bande vocale est la télécopie du Groupe 3.

7.3 Exigences en matière de qualité pour la partie radioélectrique

7.3.1 Exigences en matière de qualité vocale

La qualité vocale d'une connexion dans les IMT-2000 qui fait appel à deux interfaces radioélectriques, dans les conditions d'erreur définies par le modèle d'erreur courant des IMT-2000, et à tout transcodage qui serait nécessaire, ne doit pas subir de dégradation supérieure à 0,5 NOM par rapport à une transmission sans erreur à 32 kbit/s (voir la Recommandation UIT-T G.726).

7.3.2 Exigences en matière de qualité de la connexion

Il sera nécessaire pour les IMT-2000 de satisfaire aux exigences de qualité dont la liste figure dans le Tableau 1 où des valeurs restent encore à spécifier (voir aussi le projet de Recommandation UIT-T G.174).

TABLEAU 1

Exigences en matière de qualité de la connexion

Probabilité de blocage sur la liaison radioélectrique	Pour complément d'étude
Probabilité de blocage entre les IMT-2000 et le réseau du service fixe	Pour complément d'étude
Temps d'attente après numérotation	Pour complément d'étude
Temps d'attente du signal de réponse	Pour complément d'étude
Temps d'attente pour la libération de l'appel	Pour complément d'étude
Probabilité de déconnexion intempestive	Pour complément d'étude
Probabilité d'échec de transfert	Pour complément d'étude

ANNEXE 1

Objectifs pour les codecs vocaux des IMT-2000**1. Introduction**

La Recommandation UIT-R M.1034 définit un certain nombre d'environnements terrestres et par satellite qui imposeront des exigences différentes aux codecs vocaux utilisés dans ces environnements. Ainsi dans une configuration extrême, il y aura des utilisateurs accédant au système dans des picocellules urbaines, en utilisant de petits combinés, auquel cas tout défaut dans la qualité contrastera fortement avec les accès filaires conventionnels lesquels se révéleront souvent immédiatement à proximité. Les codecs vocaux devront satisfaire aux exigences de qualité des IMT-2000 avec une faible consommation en énergie et également ne subir que la dégradation minimale de la qualité résultant de transcodage dans le réseau. Dans cette situation, il peut être souhaitable d'utiliser un codec vocal avec un débit binaire plus élevé, une consommation en énergie plus faible et par conséquent moins complexe. Ce codec pourrait être considéré comme étant de classe A (voir ci-après).

Dans les cellules où les considérations spectrales exigent un débit binaire plus faible, il sera souhaitable d'utiliser des codecs vocaux ayant un débit binaire plus faible et donc plus complexes et plus gourmands en énergie afin de satisfaire aux exigences de qualité des IMT-2000. Un tel codec vocal pourrait être considéré comme étant de classe B.

Une fois encore, lors de l'examen des connexions par satellite, les considérations spectrales peuvent imposer l'adoption d'un débit binaire encore plus bas avec comme conséquence pour le codec vocal une augmentation de la complexité et de la consommation en énergie en vue de satisfaire aux exigences de qualité des IMT-2000. Cette hiérarchie de codecs allant de dispositifs peu complexes à débit binaire élevé aux dispositifs complexes à faible débit binaire et à efficacité spectrale accrue, est suivie dans les objectifs pour les codecs vocaux fixés plus loin.

Au cas où plusieurs codecs vocaux seraient retenus pour les IMT-2000, il faudrait considérer les façons de réduire l'impact du transcodage qui se produira, par exemple en adoptant des structures de trame ou des méthodes de synchronisation communes.

Il convient de souligner que tous les codecs vocaux doivent satisfaire à la seule exigence de qualité des IMT-2000; toutefois, il est probable que leurs caractéristiques seront différentes, notamment pour ce qui est du taux d'erreur et de la consommation en énergie. Afin de satisfaire une des exigences des IMT-2000 qui est d'avoir un nombre minimal de modèles de codecs vocaux et également afin d'obtenir une bonne efficacité spectrale et faire en sorte que le marché pour les IMT-2000 soit le plus prometteur, il faut faire correspondre les paramètres exigés pour les codecs vocaux des IMT-2000 aux environnements prévus. Le Tableau 2 donne la liste des environnements donnés dans la Recommandation UIT-R M.1034 et les fait correspondre aux classes de codecs vocaux. Ces classes sont ensuite définies en établissant la liste de leurs paramètres en vue de remplir les objectifs de développement des codecs vocaux qui sont exigés par la Commission d'études 15 de la normalisation des télécommunications.

2. Environnements d'exploitation radioélectriques

Les environnements d'exploitation radioélectriques donnés dans le Tableau 2 proviennent de la Recommandation UIT-R M.1034:

TABLEAU 2

Environnement	Classe
Locaux d'entreprises	A
A l'intérieur ou à l'extérieur de bâtiments sur de courtes distances	A et B
Domicile	A
Circulation urbaine au dehors	B
Piéton en zone urbaine au dehors	A et B
Zone rurale au dehors	B
Position fixe au dehors	B
Terrestre aéronautique	B
Trafic local à débit binaire élevé	A
Trafic par satellite en zone urbaine	B et C
Zone rurale par satellite	C
Stations mobiles utilisées en stations fixes avec satellite	C
Liaisons par satellite à l'intérieur des bâtiments	C

Les classes A, B et C désignent les exigences communes dans les différents environnements d'exploitation radioélectriques en ce sens qu'un codec vocal satisfaisant, par exemple, à l'environnement «locaux d'entreprises» satisfera probablement aussi au fonctionnement dans l'environnement «domicile». Il convient de tenir compte de ce que les IMT-2000 nécessitent un nombre de types de codecs minimal de sorte qu'un codec satisfaisant aux exigences de plus d'une classe peut être un choix souhaitable, mais cela soulèverait la question d'avoir à effectuer un choix entre le fait d'avoir moins de codecs ou d'avoir des codecs satisfaisant de plus près aux besoins.

3. Paramètres du codec vocal

TABLEAU 3

Paramètre	Classe					
	A		B		C	
	Valeur exigée	Objectif	Valeur exigée	Objectif	Valeur exigée	Objectif
Qualité vocale sans erreurs	G.726		G.726		G.726	
Temps de propagation dans un codec (dans un seul sens) (ms)	10	2	20	10	40	20
Consommation en énergie (mW)	2	1	20	5	300	200
Débit binaire du codec vocal (kbit/s)	32	16	16	4	4	2-3
Fonction d'adaptation du débit binaire (kbit/s)	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Fonction de détection d'activité vocale	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
Transparence aux signaux multifréquences DTMF	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui

Note 1 – Les valeurs de consommation en énergie sont fondées sur les technologies prévues pour l'an 2000.

4. Méthodes d'essai

Les essais doivent prendre en compte aussi bien des erreurs dans le canal radioélectrique mobile que l'utilisation paraconversationnelle de la connexion téléphonique.

Les technologies de transmission hertzienne ne sont pas encore définies dans les IMT-2000, elles peuvent être du type AMRT ou AMDC ou une combinaison de celles-ci à bande étroite ou à large bande, ce qui changerait la configuration des erreurs affectant les signaux vocaux numérisés. Le modèle Bellcore existant est une première indication valable pour les exigences en matière de paquets d'erreurs, mais il peut devoir être affiné pour donner un résultat satisfaisant en ce qui concerne des technologies de transmission qui ne sont pas directement modulaires. Le Groupe d'action 8/1 des radiocommunications aura la responsabilité d'élaborer un modèle amélioré qui soit en relation avec le canal d'accès hertzien retenu.

Alors que l'usage pour la conversation de la connexion indiquerait la nécessité de procéder à des essais de conversation, on admet que les essais subjectifs sur la base de conversations présenteraient certaines difficultés. On peut toutefois penser que dans les IMT-2000 où il existe une cascade de segments dans la connexion, la formation des dégradations peut ne pas être simplement soumise à une loi additive. Enfin, il convient de prendre en considération l'étalonnage de la méthode d'essai au moyen de quelques essais de conversation dans des cas significatifs afin de garantir la validité de ces essais.

ANNEXE 2

Etablissement de modèles d'erreurs pour les interfaces radioélectriques des IMT-2000

1. Introduction

Il est nécessaire, pour évaluer et choisir les codecs vocaux applicables aux IMT-2000, de disposer de masques d'erreur représentant de façon réaliste les erreurs existantes dans les interfaces radioélectriques des IMT-2000 lors de leur utilisation par des abonnés se déplaçant dans l'environnement d'exploitation radioélectrique à des vitesses types. Le choix de la technologie de l'interface radioélectrique des IMT-2000 reste encore à opérer entre l'AMDC, l'AMRT ou une combinaison des deux; ce choix modifiera de façon importante la configuration des erreurs qui apparaîtront.

Il n'existe pas un masque unique pouvant représenter correctement la vaste gamme des techniques d'accès en compétition ou la gamme des vitesses de déplacement des utilisateurs. Toutefois, la mise au point de codecs vocaux se poursuit et il faudrait disposer d'un masque d'erreur intérimaire pour une évaluation et un choix provisoires. Un tel masque intérimaire est donné dans l'Annexe 3 où est décrit le modèle d'erreur Bellcore qui produit des paquets d'erreurs représentatifs d'utilisateurs en déplacement lent dans l'environnement radioélectrique mobile.

De tels modèles sont fondés sur une simulation de l'interface radioélectrique de façon à obtenir les statistiques d'erreur résultant de dégradations dans le canal telles que les évanouissements, le bruit et des brouillages causés par d'autres utilisateurs. Les statistiques peuvent être introduites dans le modèle qui est ensuite utilisé pour produire des masques d'erreur. Le masque d'erreur peut aussi être obtenu directement par simulation.

Les paragraphes suivants décrivent la simulation, par exemple, d'interfaces radioélectriques AMRT ou AMRC et donnent les statistiques d'erreur qui en résultent, lesquelles mettent en évidence une large gamme de valeurs qui nécessiterait plusieurs masques d'erreur pour les représenter correctement. De plus, on constate que les paquets d'erreurs de trame (PET) se produisent lorsqu'un certain nombre de trames consécutives comportent des erreurs pendant des périodes atteignant 150 ms, ce qui peut être trop long pour pouvoir être toléré par des codecs vocaux visant à une qualité vocale analogue à celle des liaisons interurbaines.

Le problème de longs PET conduit à une autre solution qui est de procéder, d'une part, à l'essai des codecs vocaux et, d'autre part, à spécifier l'interface radioélectrique où la durée maximale des PET est limitée à 50 ms, par exemple, avec un taux d'apparition inférieur à 1%, par exemple, ce qui est peut-être la pire des situations que les codecs vocaux puissent tolérer et par conséquent la qualité minimale que la technologie des interfaces radioélectriques doit offrir.

Un autre problème est que, dans certains systèmes, différentes classes de flux binaire peuvent être spécifiées par le codec vocal pour différents degrés de protection du canal. Par exemple, la norme nord-américaine «TDMA Digital Cellular Standard (IS-54)» spécifie trois classes de flux binaire ayant chacune une protection différente. En d'autres termes, pour les mêmes conditions dans le canal et la même structure de l'émetteur-récepteur, les différentes classes de flux binaire peuvent être soumises à différentes statistiques d'erreur. Le modèle Bellcore ne tient pas compte de cette situation. Il conviendra, lors du choix de la technologie d'accès à l'interface radioélectrique, d'accorder une attention toute particulière à l'utilisation des masques réels obtenus à partir des simulations de l'émetteur-récepteur.

Les éléments ci-après précisent le type de simulations qui peuvent être faites pour les interfaces radioélectriques des IMT-2000 en vue d'obtenir les statistiques pour les différents modèles d'erreurs. Ces simulations seront nécessaires lorsque les interfaces radioélectriques des IMT-2000 auront été choisies de sorte qu'un modèle ou des modèles d'erreurs définitifs pourront être définis pour les IMT-2000.

2. Simulation des accès hertziens AMRT ou AMDC

Le présent paragraphe contient une brève description des émetteurs-récepteurs et des modèles de canal simulés pour obtenir des statistiques PET types. Le canal radioélectrique est modélisé par un modèle à bande étroite à un seul trajet pour les évanouissements de Rayleigh. Le brouillage est supposé être du bruit blanc gaussien additionnel (BBGA). Le canal avec évanouissements de Rayleigh a été simulé au moyen du modèle de Jake.

Un système AMRT-AMDC simulé est donné à titre d'exemple, avec un espacement entre porteuses de 350 kHz et des trames AMRT de 8 ms. Chaque trame est divisée en 40 intervalles de temps, chacun comprenant 8 kbit/s de données vocales. La modulation est du type $\pi/4$ MDP-4 avec réception cohérente. Une diversité à 2 antennes est utilisée.

Dans le système AMDC donné à titre d'exemple, les émetteurs-récepteurs de la liaison montante (mobile-base) et descendante (base-mobile) sont simulés. Le débit binaire de l'utilisateur est de 9,6 kbit/s et la longueur de trame est 20 ms. La liaison montante du système étale d'abord les données en utilisant un code convolutionnel de rapport 1/3. Les symboles codés résultants sont entrelacés et chacun des 6 symboles est appliqué à des signaux orthogonaux à 64 états. Le récepteur emploie sur la voie montante une diversité à 2 antennes avec un combineur non cohérent utilisant une loi quadratique. Une régulation de puissance est utilisée. La station de base estime la puissance du signal reçu. Un bit de commande de régulation de la puissance est généré toutes les 1,25 ms en comparant la puissance estimée à un seuil. En fonction des bits de commande de régulation de la puissance reçus de la base, la station portable ajuste la puissance qu'elle transmet toutes les 1,25 ms de la valeur d'un pas fixe. Le canal montant, pour chaque antenne, est modélisé comme subissant un évanouissement de Rayleigh à un seul trajet.

Dans le système AMDC descendant, on utilise un code convolutionnel de rapport 1/2 pour étaler les données provenant de l'utilisateur, suivi par un étalement MDP-4 à codes pseudo-aléatoires. La modulation MDP-2 avec réception cohérente et la diversité multitrajet sont considérées. Le canal descendant est modélisé au moyen de deux trajets affectés indépendamment de l'évanouissement de Rayleigh avec des puissances moyennes égales. Les deux trajets sont supposés produits artificiellement en utilisant deux antennes d'émission à la base.

3. Statistiques de paquets d'erreurs de trame (PET) pour les systèmes AMRT et AMDC

Le présent paragraphe contient une présentation des résultats de simulation sur les statistiques de PET pour des systèmes AMRT et AMDC. Deux types de statistiques sont présentés:

- le nombre de PET par seconde avec une durée supérieure ou égale à une valeur donnée,
- la fonction de distribution cumulative (FDC) des probabilités des durées des PET.

On considère des vitesses du terminal de 1, 10 et 100 km/h avec une fréquence porteuse de 2 GHz. Les statistiques ci-dessus sur les PET sont obtenues avec une contrainte sur le taux d'erreur binaire (TEB) qui doit être inférieur à 1×10^{-3} .

La Fig. 2 montre la fréquence d'apparition de PET de durée variable sur la liaison descendante AMDC avec des vitesses de la station portable de 1, 10 et 100 km/h. Les résultats de la Fig. 2 ont été obtenus pour des rapports S/N de 18,5 dB correspondant à un taux d'erreur binaire inférieur à 1×10^{-3} . Le rapport d'erreur sur la trame (RET) correspondant était 0,1. La Fig. 3 montre la fonction de distribution cumulative (FDC) des probabilités des durées des PET pour le système AMRT à des vitesses de 1 et 10 km/h.

FIGURE 2
 Nombre de PET par seconde de durée supérieure
 ou égale à l'abscisse (système AMRT)

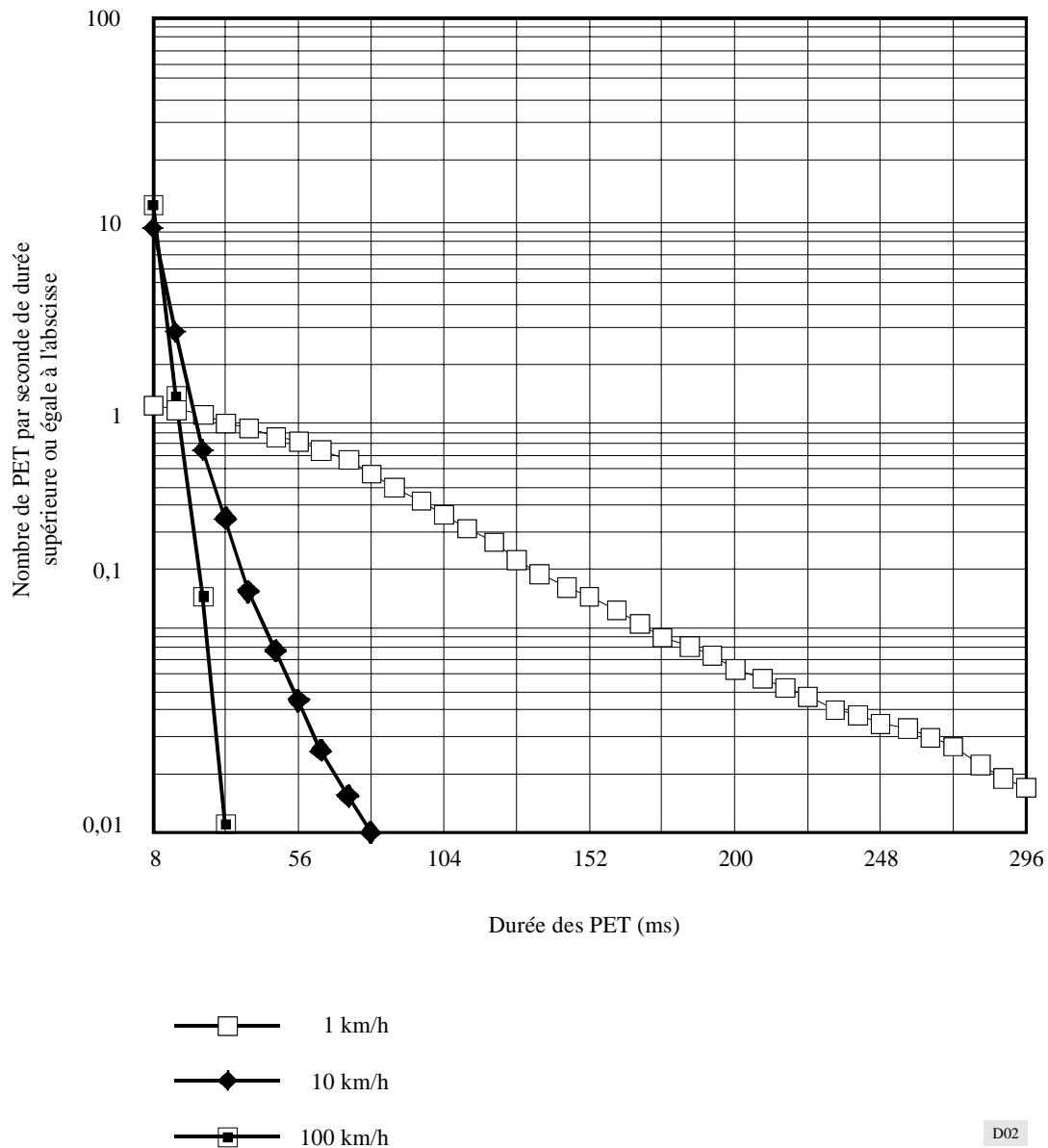
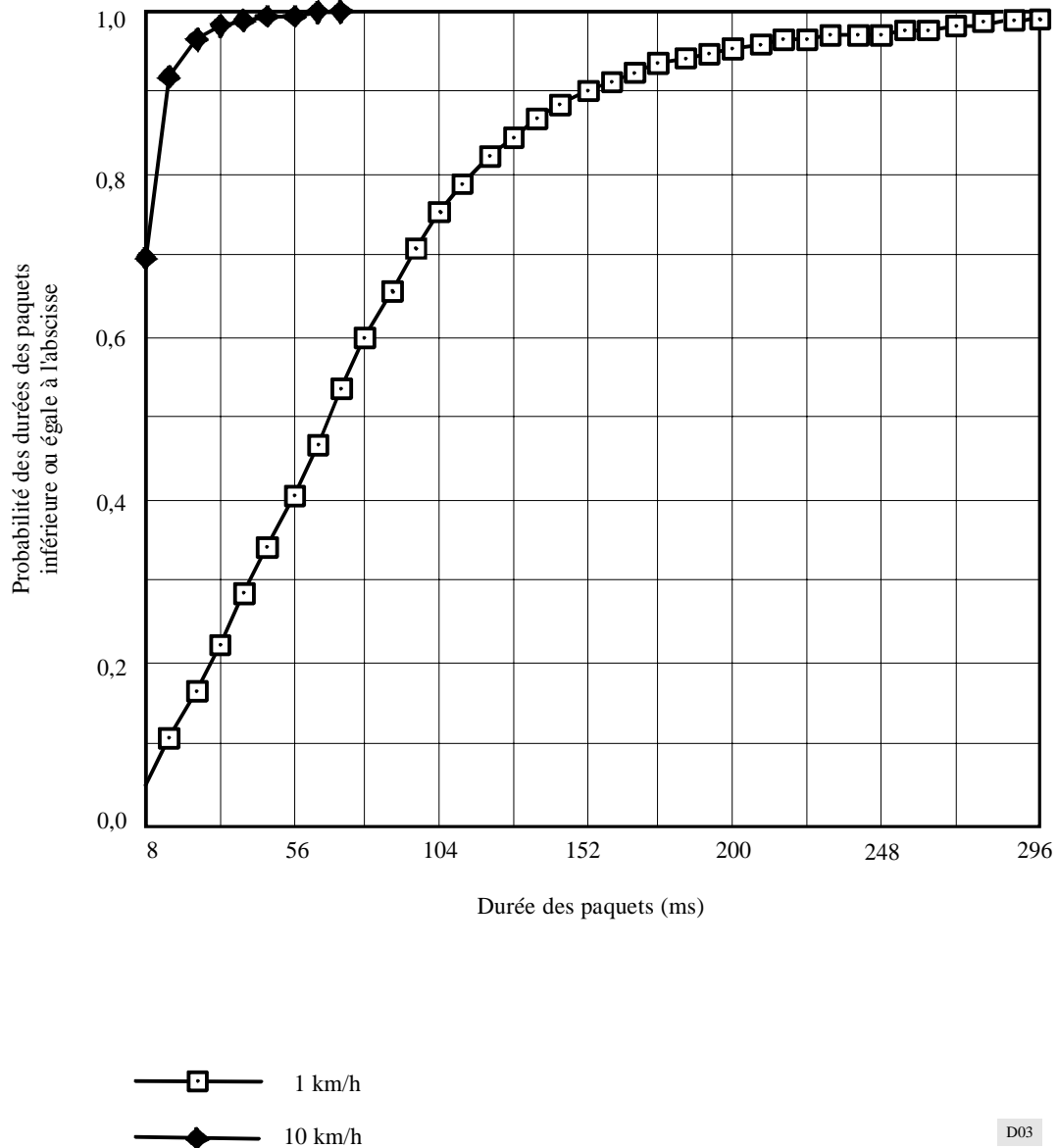


FIGURE 3

Fonction de distribution cumulative (FDC) des probabilités
des durées des PET pour le système AMRT



D03

4. Conclusions des simulations

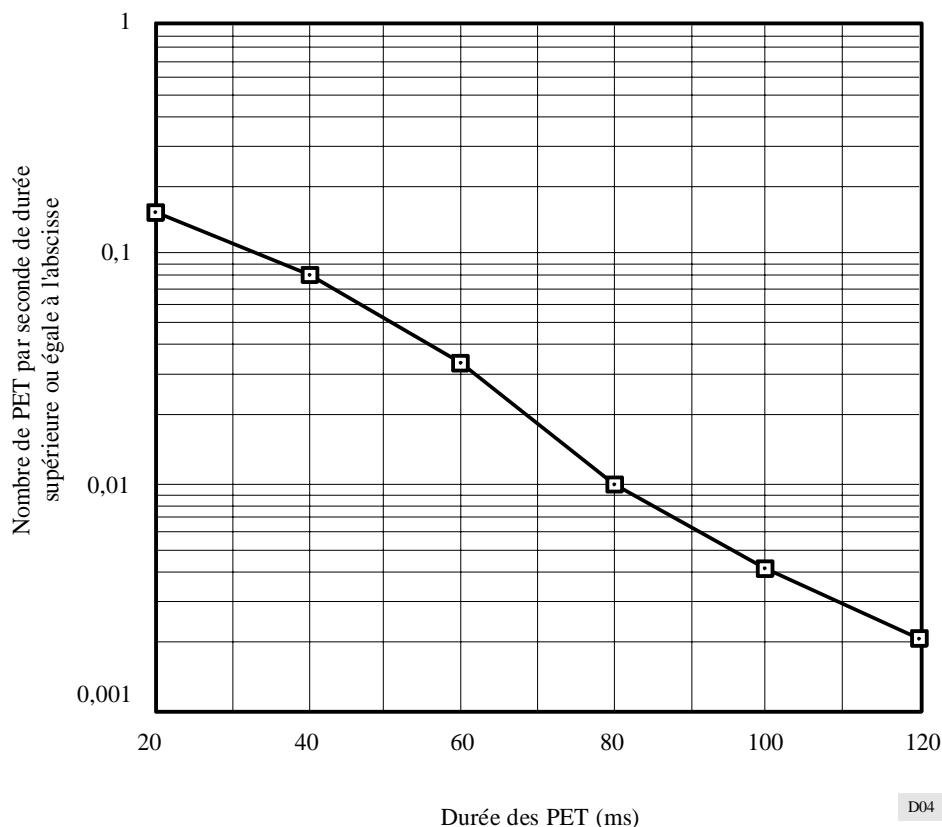
4.1 Les résultats des simulations montrent une large gamme de statistiques dépendant de la technique d'accès hertzien et de la vitesse de la station. Ces différentes statistiques imposent différentes exigences de fiabilité au codec vocal.

4.2 Un codec vocal optimisé pour une technique d'accès hertzien peut ne pas être optimal pour un autre système d'accès. Ainsi, un seul modèle global peut ne pas être suffisant pour l'évaluation et la sélection du codec vocal.

4.3 Les Fig. 3 et 4 illustrent le fait que pour le système AMRT, les PET de longueur supérieure à 152 ms (19 trames de durée 8 ms chacune) apparaissent avec une probabilité élevée. Par conséquent, le modèle d'erreur à chaîne de Markov à états finis proposé par Bellcore requiert plus de 8 états pour représenter une large gamme de techniques d'accès.

FIGURE 4

Nombre de PET par seconde de durée supérieure ou égale à l'abscisse, vitesse de 1 km/h (liaison descendante du système AMRT)



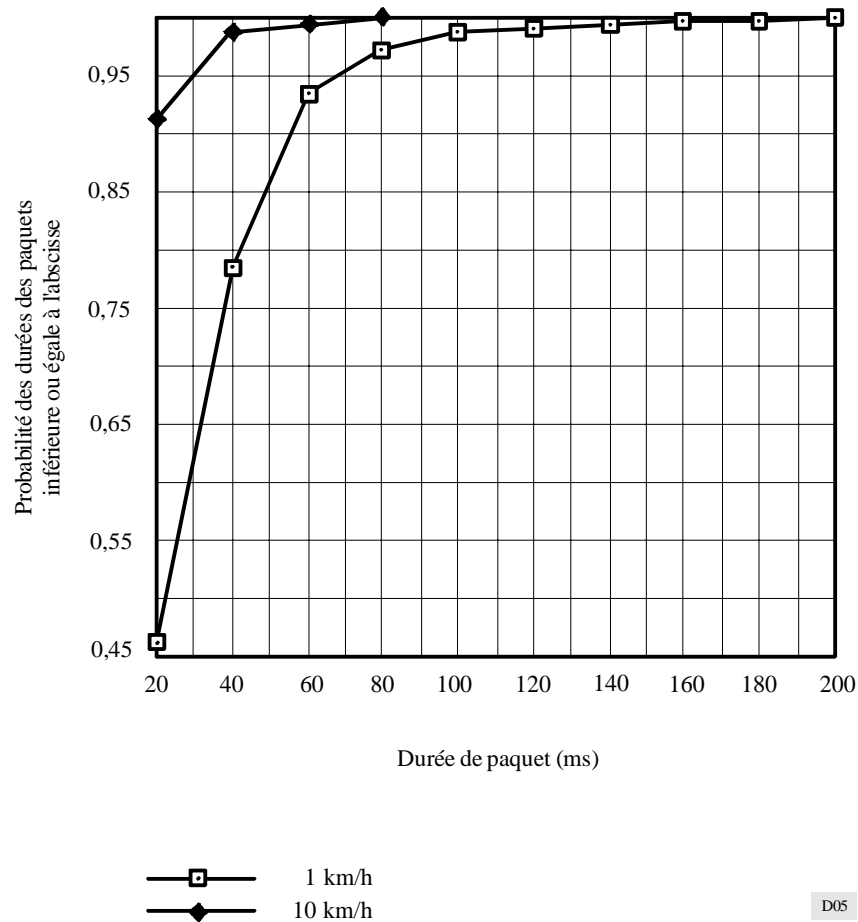
5. Autre critère pour l'évaluation du codec vocal

Il convient de prendre en considération un autre critère dans lequel une limite est imposée au nombre de PET par seconde ayant une durée supérieure à un certain seuil. Les codecs vocaux devraient être conçus pour obtenir une qualité élevée avec les contraintes spécifiées pour la fréquence et la durée des PET.

Les techniques d'accès hertzien proposées devraient alors satisfaire aux contraintes imposées sur les statistiques des PET. La valeur seuil de la durée des PET et la contrainte imposée sur le taux d'apparition de ces paquets par seconde doivent être déterminées après des essais subjectifs. Sur la base des résultats préliminaires, une valeur du seuil de 50 ms pour la durée des PET et une valeur du seuil pour le nombre d'apparitions de tels PET autour de 1 à 5% par seconde sont des valeurs de départ tout à fait valables. Il est recommandé de procéder à des essais subjectifs complémentaires sur les techniques de masquage des évanouissements afin d'établir une valeur précise.

FIGURE 5

Fonction de distribution cumulative (FDC) des probabilités des durées des PET pour le système AMDC



ANNEXE 3

Modèle d'erreur intérimaire Bellcore pour les IMT-2000

1. Introduction

L'analyse de la propagation des ondes radioélectriques dans les environnements urbains et suburbains pour les services SCP-IMT-2000 indique qu'en raison d'annulations du signal dû aux trajets multiples (par exemple évanouissement de Rayleigh), les utilisateurs en déplacement lent ou stationnaires peuvent constater des paquets d'erreurs sporadiques. La fréquence et la durée de ces paquets d'erreurs dépendent de facteurs tels que le déplacement de l'utilisateur, la fréquence, le mode de diversité utilisé, le procédé de détection, le rapport moyen S/N , et les durées peuvent être comprises entre quelques millisecondes et plusieurs centaines de millisecondes. Les codecs vocaux qui ne sont pas destinés à être utilisés sur des canaux radioélectriques pour de telles applications devraient, par conséquent, faire l'objet d'une évaluation en étant soumis à des configurations d'erreurs par paquets représentatives de cet environnement.

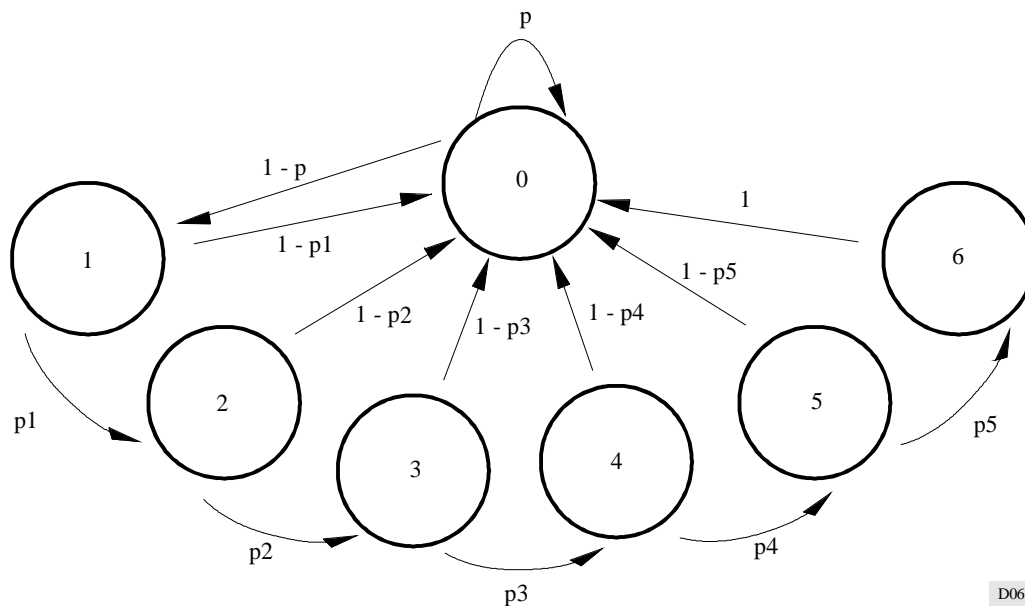
La variabilité extrême des paramètres signifie que la variation possible de la durée des évanouissements et le nombre d'évanouissements par seconde qu'un utilisateur peut constater créeraient une matrice d'essais trop vaste pour convenir à une utilisation dans les essais subjectifs. Comme il n'existe pas un jeu unique de paramètres pouvant représenter de façon adéquate l'environnement d'erreur «vu» par l'utilisateur type, une autre méthode consiste à définir

un essai qui caractériserait les qualités d'un codec vocal par la façon dont il réagit à une configuration fixe de paquets d'erreurs courts, moyens ou longs. Les définitions de court, moyen et long sont quelque peu arbitraires et seraient probablement fondées sur la longueur de trame utilisée par le codec. Par exemple, pour un codec utilisant une longueur de trame de 16 ms, les définitions pourraient être: «court» pour une trame ou deux, «moyen» pour trois ou quatre trames et «long» pour cinq ou six trames.

2. Généralités sur le modèle d'erreurs par paquets

Un modèle de Markov à 7 états a été proposé pour générer des paquets d'erreurs corrélés destinés à être utilisés dans les essais subjectifs. La présente Annexe donne des informations supplémentaires sur le modèle et explique comment il peut être utilisé pour générer les configurations de paquets d'erreurs voulues. Un diagramme du modèle est montré à la Fig. 6.

FIGURE 6
Modèle d'erreurs par paquets (Chaîne de Markov à 7 états)



Le modèle a sept états (0 à 6) avec le nom de chaque état correspondant au nombre de trames perdues pendant un paquet d'erreurs. Par exemple, dans l'état 0 il n'y a pas de trame manquante, l'état 1 représente une seule trame manquante et l'état 6 représente un paquet d'erreurs qui provoque la perte de six trames.

Le modèle est régi par les probabilités conditionnelles (p, p_1, p_2, \dots, p_6) qui définissent la probabilité de passer d'un état à l'autre. Par exemple, en partant de l'état 0, nous voyons qu'il y a une probabilité p de demeurer à l'état 0. Inversement, on pourrait dire que la probabilité de passer d'un état 0 à un état 1 serait $1 - p$. Une fois dans une condition d'erreur (états 1 à 6), les options pour chaque essai successif sont, soit de continuer jusqu'au prochain état d'erreur, soit de retourner à l'état 0.

Une caractéristique de ce modèle est que une fois à l'état 6, la probabilité de retourner à l'état 0 est 1, limitant ainsi le nombre maximal de trames perdues dans un seul paquet d'erreurs à six. Pour une longueur de trame de 16 ms, ceci signifie que le paquet d'erreurs le plus long que le modèle peut produire est 96 ms. L'hypothèse est que les paquets d'erreurs excédant environ 100 ms créent des dégradations indépendantes de l'aptitude d'un codec à récupérer, réduisant sa valeur pour les essais comparatifs.

3. Valeurs désirées pour les statistiques d'erreurs par paquets

Le rapport théorique moyen d'erreur et les probabilités de chaque état d'erreur peuvent être déduits mathématiquement des probabilités conditionnelles. Le Tableau 4 montre un exemple utilisant un jeu de probabilités conditionnelles arbitraire.

TABLEAU 4

Probabilités conditionnelles		
$p = 0,99$ $p1 = 0,7$ $p2 = 0,6$ $p3 = 0,5$ $p4 = 0,4$ $p5 = 0,3$		
Etat	Probabilité de l'état n	Formule ($K_n =$ probabilité d'être à l'état n)
0	0,975608	$K_0 = 1 - K_1 - 2 \times K_2 - 3 \times K_3 - 4 \times K_4 - 5 \times K_5 - 6 \times K_6$
1	0,003000	$K_1 = (1 - p) \times (1 - p1)$
2	0,002800	$K_2 = (1 - p) \times p1 \times (1 - p2)$
3	0,002100	$K_3 = (1 - p) \times p1 \times p2 \times (1 - p3)$
4	0,001260	$K_4 = (1 - p) \times p1 \times p2 \times p3 \times (1 - p4)$
5	0,000588	$K_5 = (1 - p) \times p1 \times p2 \times p3 \times p4 \times (1 - p5)$
6	0,000252	$K_6 = (1 - p) \times p1 \times p2 \times p3 \times p4 \times p5$
Rapport moyen d'erreur théorique = $1 - K_0 = 2,44\%$		

Les probabilités conditionnelles devraient être choisies de sorte que deux exigences soient satisfaites:

- que les états d'erreurs par paquets soient distribués uniformément, c'est-à-dire que chaque état d'erreur devrait apparaître presque aussi souvent que l'un quelconque des autres états d'erreur;
- que le rapport moyen d'erreurs par paquets soit limité à environ 3%.

Il peut être souhaitable de limiter un peu l'apparition de paquets d'erreurs plus longs de façon à faire place à un nombre adéquat de paquets courts au-dessous de la limite de 3% du rapport d'erreur. Sur la base de ces considérations, le concept d'une distribution «raisonnable» d'erreurs par paquets pourrait être:

TABLEAU 5

Nombre de trames perdues dans le paquet d'erreurs	Rapport d'apparition désiré (%)
1	0,2
2	0,2
3	0,2
4	0,2
5	0,1
6	0,1

Le jeu de probabilités conditionnelles que produirait une telle distribution (pour un échantillon suffisamment important) est montré au Tableau 6. On constate avec ces valeurs que les rapports d'apparition théorique et désiré concordent étroitement.

TABLEAU 6

Probabilité conditionnelle	Etat	Probabilité théorique de l'état n
$p = 0,99$	0	0,968965
$p1 = 0,8$	1	0,002000
$p2 = 0,75$	2	0,002000
$p3 = 0,67$	3	0,001980
$p4 = 0,5$	4	0,002010
$p5 = 0,5$	5	0,001005
	6	0,001005
Rapport moyen d'erreur théorique = $1 - K_0 = 3,10\%$		

4. Comportement du modèle: comparaison entre le modèle théorique et la réalité

En vue d'être utilisé effectivement dans les essais subjectifs, un logiciel a été créé pour mettre en œuvre le modèle de Markov à 7 états et produire la distribution désirée des erreurs par paquets. En utilisant ce logiciel avec les probabilités conditionnelles spécifiées dans le Tableau 6, nous obtenons les résultats qui suivent:

TABLEAU 7

Nombre d'essais: 1000					
Probabilité conditionnelle	Trames avec paquets	Probabilité théorique	Rapport réel d'apparition	Nombre réel d'apparitions	Total de trames perdues
p = 0,99	0	0,968965	0,958	958	0
p1 = 0,80	1	0,002000	0,003	3	3
p2 = 0,75	2	0,002000	0,002	2	4
p3 = 0,67	3	0,001980	0,004	4	12
p4 = 0,50	4	0,002010	0,002	2	8
p5 = 0,50	5	0,001005	0,003	3	15
p6 = 1,0	6	0,001005	0,000	0	0
Total de trames perdues = 42 Rapport réel de trames perdues = 4,2% Rapport théorique de trames perdues = 3,1%					

Notons que les rapports réels d'apparition et les rapports de trames perdues diffèrent des valeurs théoriques. Ceci provient de ce que la simulation sur ordinateur du modèle de Markov fait usage d'un générateur de nombre aléatoire (la fonction *rand()* de ANSI C) de sorte que le résultat réel dépend du «germe» initial, des propriétés spectrales du générateur de nombre aléatoire et (le plus important) du nombre d'essais. Lorsque le nombre d'essais augmente, les rapports réels d'apparition et les trames réellement perdues convergent vers les rapports théoriques. Le Tableau 8 montre les résultats pour 10 000 essais. Notons que les résultats réels convergent plus près des résultats théoriques.

TABLEAU 8

Nombre d'essais: 10 000					
Probabilité conditionnelle	Trames avec paquets	Probabilité théorique	Rapport réel d'apparition	Nombre réel d'apparitions	Total de trames perdues
p = 0,99	0	0,968965	0,9709	9 709	0
p1 = 0,80	1	0,002000	0,0021	21	21
p2 = 0,75	2	0,002000	0,0018	18	36
p3 = 0,67	3	0,001980	0,0016	16	48
p4 = 0,50	4	0,002010	0,0022	22	88
p5 = 0,50	5	0,001005	0,0010	10	50
p6 = 1,0	6	0,001005	0,0008	8	48
Total de trames perdues = 291 Rapport réel de trames perdues = 2,91% Rapport théorique de trames perdues = 3,1%					

5. Génération de configuration d'erreurs à utiliser dans les essais subjectifs

Les résultats ci-dessus montrent que, bien que la simulation sur ordinateur du modèle puisse produire une distribution d'erreurs par paquets dont le rapport moyen de trames perdues puisse être spécifié, la nature en paquet des erreurs impose des précautions lors de l'extraction d'un segment partiel à partir de la configuration complète d'erreur qui est produite. Sinon, le rapport total d'erreur et les distributions d'erreur dans le segment pourraient ne pas coïncider avec les distributions qui étaient recherchées.

Comme la simulation par ordinateur sera utilisée pour produire des configurations d'erreur à utiliser dans les essais subjectifs, la solution est de produire un flux d'erreur dont la longueur coïncide avec celle de l'échantillon de parole utilisé dans les essais subjectifs; et ensuite d'ajuster les probabilités conditionnelles (par essai et erreur) afin d'obtenir les distributions désirées. Par exemple, si les échantillons de parole utilisés dans l'essai ont une longueur de 20 s, alors la simulation par ordinateur doit être programmée pour produire une configuration de 1 250 trames de 16 ms. Pour des trames de 12 ms, une configuration de 1 667 trames serait produite. Le Tableau 9 montre les résultats pour 1 500 essais.

TABLEAU 9

Nombre d'essais: 1500					
Probabilité conditionnelle	Trames avec paquets	Probabilité théorique	Rapport réel d'apparition	Nombre réel d'apparitions	Total de trames perdues
p = 0,99	0	0,968965	0,9687	1 453	0
p1 = 0,80	1	0,002000	0,0020	3	3
p2 = 0,75	2	0,002000	0,0020	3	6
p3 = 0,67	3	0,001980	0,0033	5	15
p4 = 0,50	4	0,002010	0,0013	2	8
p5 = 0,50	5	0,001005	0,0020	3	15
p6 = 1,0	6	0,001005	0,0000	0	0
Total de trames perdues = 47 Rapport réel de trames perdues = 3,1% Rapport théorique de trames perdues = 3,1%					

Comme la distribution d'erreur réelle (voir le Tableau 9) n'est pas très répartie (l'état 3 survient trop souvent, l'état 6 n'apparaît pas), les probabilités conditionnelles peuvent être ajustées pour obtenir une meilleure distribution comme il est montré dans le Tableau 10.

TABLEAU 10

Nombre d'essais: 1 500					
Probabilité conditionnelle	Trames avec paquets	Probabilité théorique	Rapport réel d'apparition	Nombre réel d'apparitions	Total de trames perdues
p = 0,99	0	0,970084	0,9624	1 457	0
p1 = 0,77	1	0,002070	0,0024	3	3
p2 = 0,75	2	0,001733	0,0024	3	6
p3 = 0,76	3	0,001247	0,0040	3	9
p4 = 0,70	4	0,001185	0,0016	2	8
p5 = 0,75	5	0,000691	0,0024	2	10
p6 = 1,0	6	0,002074	0,0000	1	6
Total de trames perdues = 42 Rapport réel de trames perdues = 2,8% Rapport théorique de trames perdues = 3,0%					

6. Ajustement du modèle correspondant à différentes longueurs de trames

Comme il est mentionné plus haut, le modèle est conçu pour limiter le plus long paquet codé d'erreur à un maximum de 100 ms environ. Le modèle courant a 7 états basé sur l'hypothèse qu'une trame de 16 ms sera utilisée (par exemple $6 \times 16 \text{ ms} = 96 \text{ ms}$). Si le modèle doit être utilisé pour produire des configurations d'erreur à utiliser avec une longueur différente de trame, alors le modèle doit être ajusté de façon appropriée. Par exemple, si une trame de 12 ms est utilisée, alors le modèle devrait être étendu par deux états additionnels de sorte que le nombre maximal de trames pouvant être perdues dans un seul paquet d'erreurs soit 8, ce qui correspond à 96 ms ($8 \times 12 \text{ ms}$).

Comme le modèle est réalisé au moyen de logiciel, l'extension des états du modèle peut être effectuée rapidement. Par conséquent, une fois que la longueur de trame d'un codec candidat vient à être connue, un modèle d'erreur par paquet peut être rapidement conçu et entré en ligne pour générer la configuration d'erreur par paquet nécessaire pour les essais subjectifs.

7. Résumé

Le modèle d'erreur par paquet qui est proposé est basé sur une chaîne de Markov multiétats et peut produire des erreurs par paquets de durées variables à utiliser dans les essais subjectifs. La distribution des durées des erreurs est commandée par le choix d'un jeu de probabilités conditionnelles. Comme indiqué précédemment, les probabilités conditionnelles devraient être choisies de façon que deux exigences soient satisfaites:

- que les états d'erreurs par paquets soient distribués uniformément, c'est-à-dire que chaque état d'erreur se produise presque aussi souvent que n'importe lequel des autres états d'erreur;
- que le rapport moyen d'erreurs par paquets soit limité à environ 3%.

Il peut être souhaitable de limiter un peu l'apparition de paquets d'erreurs plus longs de façon à faire place à un nombre adéquat de paquets courts au-dessous de la limite de 3% du rapport d'erreur.

Le modèle devrait être utilisé pour produire une configuration d'erreur approximativement égale en longueur à l'échantillon de parole utilisé dans les essais subjectifs. Les probabilités conditionnelles peuvent alors être ajustées sur une base d'essai et erreur jusqu'à ce que la distribution exacte des durées d'erreurs par paquets soit obtenue.
