

CONTRIBUTION FRANCAISE A LA NORMALISATION DU CODEUR DE PAROLE DU SYSTEME PAN-EUROPEEN DE COMMUNICATION RADIO-CELLULAIRE

C.Galand, M.Rosso, J.Paturet, P.Elic, D.Aubert
Centre d'Études et Recherches
IBM France
06610 La Gaude

P.Combescure, D.Massaloux, JP.Petit
TSS/CMC CNET Lannion
Route de Trégastel - BP40
22301 Lannion Cedex

RESUME Cet article présente la contribution française dans le processus de normalisation du codeur de parole pour le réseau pan-européen de communication avec les mobiles. Cette étude a été conduite conjointement par le CNET et IBM France, et a débouché sur la normalisation du compromis proposé. En préambule, nous examinons les différents systèmes de communication avec des mobiles, et nous soulignons les principaux facteurs économiques et techniques qui ont permis le démarrage du projet pan-européen. Dans la deuxième partie, nous résumons le déroulement des travaux du GSM, puis nous donnons une vue d'ensemble de l'architecture fonctionnelle du réseau de communication radio cellulaire. Nous décrivons les principaux composants, et les divers mécanismes de gestion des mobiles et des communications. Dans la troisième partie de la présentation, nous décrivons les différentes phases du processus de normalisation du codeur de parole en insistant plus particulièrement sur la contribution française. Après une présentation rapide de la proposition initiale, nous donnons les résultats des tests de sélection européenne, ainsi que les facteurs qui nous ont conduit à proposer un algorithme de compromis qui fut finalement standardisé.

ABSTRACT In this paper, we report the French contribution in the standardisation process for the digital speech coder of the Pan-European Cellular Mobile Communication Network. This study has been jointly conducted by the CNET and IBM, and has led to the normalisation of the proposed trade-off coder. In the first part of the paper, we make a short review of the different communication systems between fixed and mobile customers, and we point out the major technical and market driven arguments which have been at the origin of the project. In the second part, we sum up the different phases of the GSM's work and we give an overview of the functional architecture of the cellular network. We describe the main components and the mechanisms for the management of the mobiles and of the communications. In the third part of the presentation, we describe the different phases of the normalisation process for the digital speech coder, while paying more attention to the French contribution. After a brief presentation of the initial proposal, we give the results of the comparative tests with other European Contributors, as well as the rationale which led us to propose a trade-off algorithm which was finally accepted by the CEPT.

1.0 INTRODUCTION

Pour communiquer rapidement avec des personnes en déplacement, on trouve principalement six types de systèmes:

1-Les radio communications unilatérales (ou radio messageries, -paging-). L'abonné peut, à l'aide d'un équipement de la taille d'un paquet de cigarettes, recevoir un signal sonore ou un numéro de téléphone à rappeler. L'avantage de ce type de système est son faible coût.

2-Les techniques de téléphonie sans fil (Cordless Telephone - CT), viennent depuis peu compléter les services de radio messagerie. L'utilisateur accède au réseau téléphonique public par l'intermédiaire d'un téléphone portatif couplé à un émetteur/récepteur de faible puissance qui lui permet de communiquer avec des stations de base appelées bornes téléphoniques dès lors qu'il n'en est éloigné que de quelques dizaines de mètres. Les cabines téléphoniques d'aujourd'hui devraient être à moyen terme dédoublées de bornes. Ce service, qui est déjà disponible en Grande-Bretagne et qui sera prochainement offert en France, ne permet pas de recevoir des appels.

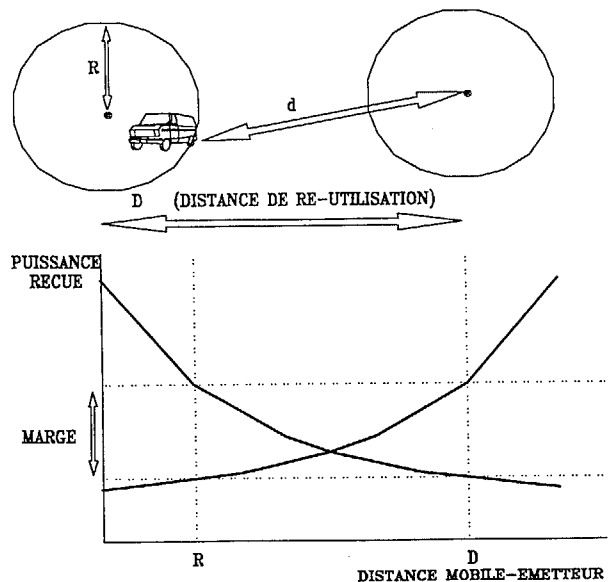
3-Les radio téléphones privés partagent un canal radio entre plusieurs utilisateurs, trouvent depuis longtemps des applications dans les flottes de véhicules (taxis, pompiers, police), mais souffrent du manque de confidentialité.

4-La radio mobile (bande urbaine-CB) partage également un canal entre plusieurs utilisateurs. Elle présente donc le même inconvénient de confidentialité que les radio téléphones privés, sans toutefois bénéficier de la connexion au réseau téléphonique public. En revanche, elle est d'un coût plus faible.

5-Les systèmes de radio-téléphonie publique permettent à l'utilisateur de communiquer depuis son véhicule dans les mêmes conditions que depuis un poste fixe (accès aux mêmes services, confidentialité, conversation bidirectionnelle). Le principe de base de ces systèmes multi-canaux est d'attribuer un canal radio à chaque utilisateur pour la durée de sa communication. Il en résulte généralement une saturation du système en zone urbaine, et une couverture géographique limitée.

6-Les systèmes de radio téléphonie cellulaire permettent de pallier ces deux inconvénients majeurs, par un découpage en cellules de la zone géographique à couvrir. Chacune des fréquences du système est utilisée simultanément dans des cellules différentes dont le rayon de couverture R et la distance de ré-utilisation D (Fig.1) sont tels que les interférences produites par la réception, à l'intérieur d'une cellule, des signaux émis par l'émetteur de la deuxième cellule demeurent à un niveau acceptable. La ré-allocation des fréquences aux mobiles changeant de cellule, est faite automatiquement par le système.

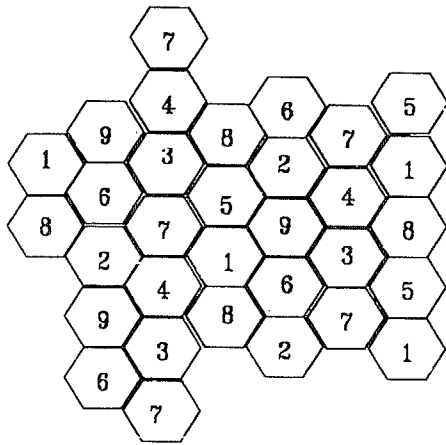
Fig.1: Distance de re-utilisation D et couverture R





La division cellulaire est basée sur un motif cellulaire hexagonal qui se prête bien à une re-utilisation périodique des fréquences. La figure 2 montre un exemple à 9 groupes de canaux re-utilisés toutes les 3 cellules.

Fig.2: Division cellulaire



L'efficacité du système, définie par le nombre d'utilisateurs par cellule pour une bande de fréquence donnée, est d'autant plus grande que la taille des cellules est petite. C'est pourquoi la taille des cellules est plus faible en zone urbaine qu'en zone rurale.

Ce bref panorama des techniques disponibles pour communiquer avec un mobile permet de comprendre, sur le plan du marché, les facteurs d'évolution des radio communications cellulaires. Les succès des premiers réseaux (NMT et TACS) ont conforté ces avantages au point que la CAMR (Commission Administrative Mondiale des Radiocommunications) a réservé en 1979 la bande des 900 MHz aux communications radio cellulaires.

D'autre part, les progrès technologiques dans les domaines de l'informatique et de la micro-électronique permettent d'envisager la mise en oeuvre de programmes complexes dans les autocommutateurs et la réalisation d'équipements portatifs dans les stations mobiles.

Ces différents facteurs ont permis le démarrage du projet européen de communication cellulaire avec les mobiles.

Dans la première partie de cette présentation, nous donnerons les grandes lignes du déroulement du projet ainsi qu'une vue d'ensemble du réseau. Puis, nous résumerons la contribution française apportée conjointement par le CNET et IBM France dans la normalisation du codeur de parole.

2.0 RESEAU PAN-EUROPEEN

2.1 PROCESSUS DE NORMALISATION

Suivant la décision de la CAMR, le projet MARATHON (Mobiles ayant accès au réseau des abonnés par transmission hertzienne) fut créé par le CNET en 1982, avec pour objectif d'établir les spécifications d'un système cellulaire de communication avec les mobiles opérant dans la bande des 900 MHz.

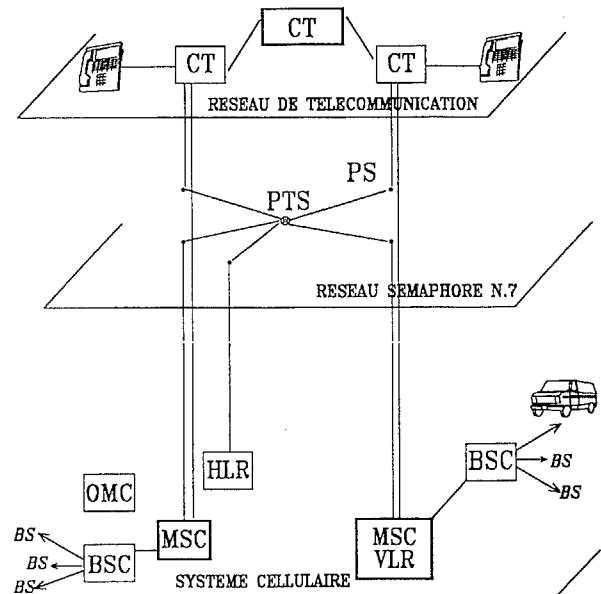
La même année, la CEPT (Conférence Européenne des Administrations des Postes et Télécommunications) adopta une Recommandation réservant les bandes 890-915 MHz et 935-960 MHz respectivement pour l'émission des stations mobiles et fixes, et créa le Groupe Spécial Mobile (GSM) avec pour objectif l'élaboration des normes nécessaires à la mise en oeuvre d'un système européen utilisant ces bandes.

En 1985, la CCE décida d'imposer la future norme à ses Etats membres. En 1987, le GSM entérina le choix des techniques numériques pour le système, puis les techniques de base du système: accès multiple à répartition dans le temps (AMRT), codage du canal, codage de la parole à débit réduit. Les spécifications correspondantes furent publiées en Juillet 1988.

2.2 ARCHITECTURE FONCTIONNELLE

La Figure 3 représente l'architecture du système /1/ qui est relié au réseau téléphonique public par l'intermédiaire d'autocommutateurs spécialisés (MSC-Mobile Switching Center). Les MSC sont connectés d'une part aux Centres de Transit (CT), et d'autre part à des contrôleurs de stations de base (BSC), eux-mêmes connectés aux stations de base (BS).

Fig.3: Architecture du réseau cellulaire



La station de base comporte des émetteurs/récepteurs et les fonctions permettant de gérer les couches basses des canaux de signalisation.

Le contrôleur de stations de base assure la commande d'une ou plusieurs stations de base pour lesquelles il effectue la gestion des ressources radioélectriques.

La fonction principale du MSC est la gestion du transfert automatique intercellulaire de communication. Il utilise pour cela deux bases de données (Fig.3): le HLR (-Home Location Register-, enregistreur de localisation nominal), et le VLR (-Visitor Location Register-, enregistreur de localisation des visiteurs).

Le HLR contient les informations nécessaires à la gestion des communications des abonnés mobiles qui lui sont rattachés (identité de l'abonné, son numéro d'annuaire, les services auxquels il a souscrit, etc). Il comprend également une information de localisation pour chaque abonné, qui est disponible sous la forme d'un numéro de re-acheminement.

Le VLR contient les informations nécessaires à la gestion des communications des abonnés mobiles qui sont dans les cellules qui lui sont rattachées. Pour chaque abonné concerné, ces informations sont des copies de celles qui se trouvent dans son HLR d'attache. Le VLR contient en outre pour chaque abonné une information de localisation sous la forme d'un identificateur de la zone de localisation dans laquelle il se trouve. Une des fonctions du VLR est d'attribuer les numéros de re-acheminement et de les transmettre aux HLR.

Finalement, le Centre d'Exploitation et de Maintenance du réseau (OMC-Operating and Maintenance Center- Fig.3) en permet la télé-exploitation et la télé-maintenance.

2.3 PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

Pour définir les services auxquels l'abonné aura accès, le GSM a utilisé les bases du RNIS (Réseau Numérique à Intégration des Services): on distingue les services supports relatifs à la spécification de l'interface usager-réseau (V21, V22, etc), les télé-services qui spécifient l'interface usager-usager dans le cadre d'applications définies par le CCITT (téléphonie, données 300 et 1200 bps), et les services supplémentaires (renvoi des appels, etc).

Les données binaires issues du terminal (parole ou donnée) sont codées et entrelacées pour lutter contre les erreurs de transmission, puis éventuellement encryptées pour assurer la confidentialité. Le sous-système de transmission radio-électrique est basé sur la technique d'accès multiple à répartition dans le temps (AMRT). Les communications sont multiplexées par 8 sur chaque porteuse. Il y a 124 porteuses espacées de 200 kHz dans chaque bande de la CEPT. Ces porteuses changent suivant une loi de saut de fréquence qui est déterminée à l'initialisation de chaque communication, et qui permet d'accroître l'efficacité du codage canal.

Le système de transmission comprend des canaux logiques: les canaux de trafic (TCH) pour la transmission de données ou de parole d'utilisateur à utilisateur, et les canaux de signalisation parmi lesquels on distingue le canal de diffusion (BCCH) et les canaux de signalisation dédiés (DCCH).

2.4 GESTION DES MOBILES

Chaque abonné reçoit une identité internationale d'abonné mobile (IMSI) qui est introduite dans la station mobile sous la forme d'un module d'identité d'abonné (SIM) amovible (carte à puce). L'acheminement des communications vers un abonné mobile nécessite la connaissance de sa zone localisation. La mise à jour de la zone de localisation met en jeu la station mobile, le VLR, et le HLR, suivant le processus suivant. Chaque station de base diffuse sur le canal de diffusion BCCH l'identité de la zone dont dépend la cellule qu'elle dessert. A la mise sous tension, la station mobile se met à l'écoute du canal BCCH, et compare l'identité de la nouvelle zone de localisation avec celle de l'ancienne zone dans laquelle l'abonné se trouvait avant la mise hors tension, et qui a été mémorisée dans une mémoire rémanente. Si elles diffèrent, la station mobile transmet au réseau la nouvelle identité de zone ainsi que son IMSI. Le VLR note alors cette information. Si l'abonné ne figurait pas déjà sur ses tables, il lui attribue un numéro de re-acheminement. Puis, le VLR déduit de l'IMSI le HLR de rattachement de l'abonné, et lui transmet le numéro de re-acheminement. En retour, le HLR lui transmet les données d'abonné nécessaires à la gestion des communications. Dans le cas où l'abonné a changé de VLR, le HLR signale à l'ancien VLR qu'il peut l'effacer de ses tables.

2.5 GESTION DES COMMUNICATIONS

Lorsque l'abonné compose un numéro, la station mobile effectue une requête de ressources sur le canal d'accès (ACCH). En réponse, le réseau met en attente ou alloue un canal de signalisation (DCCH) pour le déroulement de la procédure de signalisation entre la station de base et le MSC. En fonction des données disponibles dans le VLR, le MSC achemine l'appel dans le réseau fixe, puis la station de base alloue un canal de trafic pour la communication.

Lorsque inversement un abonné compose un numéro d'abonné mobile, le commutateur d'attache de cet abonné fixe déduit du numéro demandé qu'il s'agit d'un numéro d'abonné mobile, et il interroge le HLR correspondant. Le HLR donne le numéro de re-acheminement qui permet à l'autocommutateur d'établir le contact avec le MSC correspondant. Ce MSC interroge le VLR qui déduit du numéro d'acheminement l'IMSI et la zone de localisation, et informe le MSC qui entame alors la procédure de recherche d'abonné par laquelle un message de recherche est diffusé par les stations de base dépendant de la zone de localisation. La station mobile, à l'écoute du canal de recherche, reçoit le message et demande sur le canal ACCH une ressource de signalisation, puis l'allocation d'un canal de trafic.

2.6 TRANSFERT INTERCELLULAIRE

Lorsqu'une communication a été établie, le système doit suivre en permanence l'évolution de la qualité de la transmission radio de manière à commuter automatiquement cette transmission de cellule en cellule au gré des déplacements du mobile. L'évaluation de cette qualité, basée sur la mesure de paramètres comme le rapport signal sur bruit d'interférences, est effectuée pour chaque mobile en communication, non seulement par la station de base en charge de ce mobile, mais aussi par les stations de base voisines. Les stations transmettent périodiquement les mesures à leur contrôleur d'attache. Un algorithme de transfert est alors exécuté dans le contrôleur de stations BSC, et permet au MSC de prendre la décision de changement de cellule. Le re-acheminement des circuits de conversation peut alors être effectué par le MSC.

3.0 CODEUR DE PAROLE

3.1 PROCESSUS DE NORMALISATION

Le Groupe Spécial Mobile (GSM) de la CEPT comportait plusieurs groupes de travail. Nous ne nous intéressons ici qu'au groupe chargé de la normalisation du codeur de parole. Le processus devait commencer par une sélection, au niveau national, d'un codeur représentatif de chaque pays. Puis, les différentes propositions devaient être comparées sur les plans de la qualité de la parole, de la robustesse aux erreurs de transmission, et de la complexité de mise en oeuvre. Cette comparaison devait déboucher sur la base de la spécification qui serait ensuite rédigée par le groupe d'Experts. Dans la suite, nous décrivons succinctement ces trois phases.

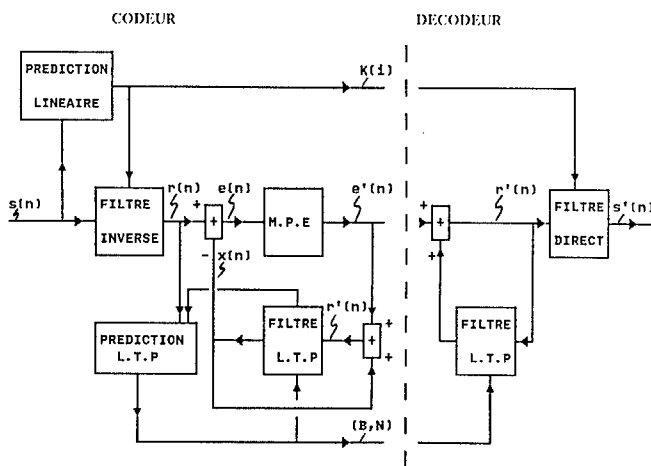
3.2 PROPOSITION INITIALE FRANCAISE

En 1985, IBM France proposa au CNET de participer aux études des algorithmes de codage de la parole entreprises dans le cadre du projet Marathon. Le codeur IBM, -MPE/LTP (Multi-pulse Excited/Long Term Prediction coder) /2/-, fut testé et validé en Décembre 1985 par le CNET sur la base de résultats de simulation. En Juillet 1986, le CNET testa et valida une maquette mettant en oeuvre cet algorithme sur un processeur de signal.

La figure 4 représente un schéma simplifié du codeur MPE/LTP dont le principe est le suivant. Le signal de parole $s(n)$ est analysé par blocs de 20 ms. Pour chaque bloc, on détermine 8 coefficients de prédiction $K(i)$ modélisant le conduit vocal humain suivant un filtre autorégressif. Le signal résiduel $r(n)$ est obtenu par filtrage inverse à l'aide de ce filtre, et subit une analyse à long terme qui permet de déduire 4 couples de coefficients (b, N) représentatifs de la périodicité du signal. Ces coefficients sont utilisés pour effectuer une prédiction $x(n)$ du signal $r(n)$. Le signal d'erreur $e(n)$ est ensuite approximé par une sous-échantillonnée $e'(n)$ de ce signal correctement normalisée. En d'autres termes, on ne considère dans le signal $e'(n)$ qu'un nombre restreint d'échantillons non nuls dont la position et l'amplitude sont déterminées de manière à minimiser un certain critère.

La méthode de modélisation MPE avait été proposée en 1982 par B. Atal /3/ et le codeur IBM mettait en évidence une mise en oeuvre simplifiée et efficace de cette technique initialement très lourde au plan théorique.

Fig.4: Schéma simplifié du codeur MPE/LTP 13,2 kbit/s (IBM)



Le codeur MPE/LTP fut réglé pour fonctionner à un débit de 16 kbit/s, dont 13,2 kbit/s utilisés pour le codage de la parole et 2,8 kbit/s pour la protection contre les erreurs de transmission. Une description détaillée du codeur de parole et du codeur canal est donnée dans /4/.

Le codeur IBM, de complexité supérieure aux solutions étudiées au CNET et chez les autres industriels français, fournissait une qualité de parole nettement supérieure à celle des autres codeurs. Il fut donc retenu par le CNET pour être présenté dans le cadre des tests de sélection européens en Octobre 1986 à Turin.



3.3 TESTS DE SELECTION

Ces tests furent conduits par la CSELT, et regroupèrent l'évaluation de 6 codeurs (Allemagne, France, GB, Italie, Norvège, Suède).

Une dizaine de pays se déclarèrent prêts à faire les évaluations de qualité. Pour cela, chaque pays fournit une bande source comprenant les enregistrements d'un grand nombre de phrases prononcées par différents locuteurs placés dans diverses conditions de niveau sonore et de bruit ambiant. Chaque bande source fut traitée par chacun des 6 codeurs de la façon suivante: le train de bits produit par le codeur, mis en oeuvre dans une maquette, fut artificiellement pollué et transmis au décodeur mis en oeuvre dans la seconde maquette. Les erreurs furent injectées à des taux de 0.1% et 1%.

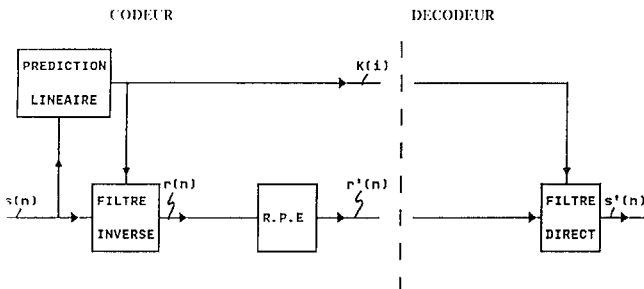
Les bandes résultant de ces opérations furent renvoyées à chaque pays évaluateur qui conduisit des tests de qualité comparatifs.

Les résultats des tests de Turin furent présentés et discutés en Janvier 1987 par le groupe d'Experts lors de sa réunion de La Haye. Il apparut /5/ que les codeurs français et allemand, basés tous deux sur la prédiction linéaire, avaient dans tous les cas des performances nettement supérieures aux quatre autres codeurs qui étaient des codeurs en sous-bandes.

Il apparut également que le codeur allemand, proposé par Philips-PKI, était plus simple que le codeur français, mais qu'il était moins robuste que ce dernier dans les cas de transmission avec erreurs.

La figure 5 représente un schéma simplifié du codeur allemand, -RPE (Regular Pulse Excited Coder) /6/. Comme dans le MPE/LTP, on modélise le signal par blocs et on détermine le signal résiduel $r(n)$. Ce signal est ensuite approximé par une sous-échantillonnée $r'(n)$ de ce signal correctement normalisée. A la différence de la modélisation MPE, la sous-échantillonnée se fait à fréquence fixe égale à 1/3 de la fréquence initiale. C'est pourquoi la complexité du RPE (3 MIPS-Millions d'instructions par seconde) est inférieure à celle du MPE/LTP (5 MIPS). En revanche, le débit nécessaire pour obtenir la même qualité dans des conditions de transmission sans erreur est supérieur (14,7 kbit/s contre 13,2). Par conséquent la protection contre les erreurs est réduite d'autant et le codeur RPE est moins robuste que le MPE/LTP dans des conditions de transmission avec erreurs.

Fig.5: Schéma simplifié du codeur RPE 14,77 kbit/s (PKI)



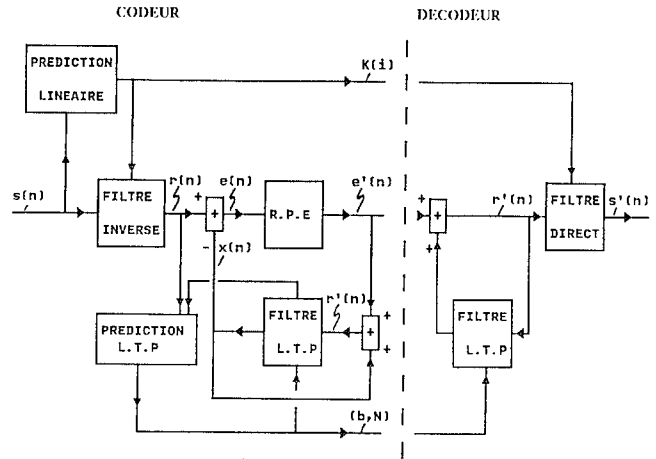
3.4 CODEUR DE COMPROMIS

A la suite des tests de Turin, nous avons en fait analysé nos propres résultats et compris les points forts et les points faibles de chaque système. Anticipant alors les conclusions de La Haye, nous avons alors recherché et trouvé une solution de compromis entre les deux codeurs.

La figure 6 représente un schéma simplifié du codeur de compromis (RPE/LTP-13 kbit/s) /7/ qui permet dans des conditions de transmission sans erreur d'obtenir une qualité équivalente à celle des deux codeurs, et dans des conditions avec erreurs d'être aussi robuste que le MPE/LTP, tout en ayant une complexité de mise en oeuvre intermédiaire (4 MIPS).

Le RPE/LTP fut proposé à La Haye, testé et approuvé par l'ensemble du groupe d'Experts, et finalement entériné par le GSM en Juillet 1987. Le codage canal associé fut finalement porté à 9,8 kbit/s, pour un fonctionnement à un débit global de 22,8 kbit/s.

Fig.6: Schéma simplifié du codeur RPE/LTP 13 kbit/s (IBM/PKI)



4.0 CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté la contribution française dans le processus de normalisation du codeur de parole pour le réseau pan-européen de communication avec les mobiles. Cette étude a été conduite conjointement par le CNET et IBM France, et a débouché sur la normalisation du compromis proposé.

Nous avons voulu en outre, à l'intention de la Communauté du GRETSI, faire un descriptif sommaire du réseau et souligner les principaux facteurs économiques et techniques qui ont permis le démarrage du projet pan-européen, et qui en feront un élément essentiel des communications de la prochaine décennie.

Les premiers éléments du réseau de communication avec les mobiles seront ouverts à l'exploitation à la fin de 1991. L'effort du GSM n'est cependant pas terminé puisqu'une question actuellement en cours est le déblocage d'une saturation déjà prévue vers 1995 dans la plupart des grandes villes. Les moyens ont été prévus dans la norme actuelle pour un fonctionnement à débit moitié, c'est à dire le partage par 16 utilisateurs (au lieu de 8) de chaque trame AMRT. Chaque communication utilisera un débit de 11,4 kbit/s se répartissant entre le codage de la parole (6 à 8 kbit/s) et le codage canal (5,4 à 3,4 kbit/s).

Les recommandations que le groupe d'Experts a faites au GSM ne permettront l'introduction de ce nouveau codage que si ce mode de fonctionnement obtient des performances en qualité de parole, coût et consommation, équivalentes à celles du système actuel. Les progrès technologiques et algorithmiques, devraient faire aboutir ce pari ambitieux.

5.0 REFERENCES

- /1/ B.Ghillebaert, P.Combescure, A.Maloberti: 'Le système cellulaire numérique européen de communication avec les mobiles', L'Echo des Recherches N.131, pp.5-16, 1er trimestre 1988.
- /2/ C. Galand, E.Lançon, M.Rosso, J.Menez 'A New Architecture of Multi-Pulse Excited Linear Predictive Coder', EUSIPCO, September 1986
- /3/ B.Atal and J.R.Remde: 'A new model of LPC excitation for producing natural-sounding speech at low bit rates', ICASSP 82.
- /4/ C.Galand, M.Rosso, Ph.Elle: 'MPE/LTP coder for mobile radio application', Speech Communication, Vol.7, N.2, pp.167-178, July 1988.
- /5/ J.E.Natwig: 'Pan-European speech coding standard for digital mobile radio', Speech Communication, Vol.7, N.2, pp.113-124, July 1988.
- /6/ E.F.Deprettere, P.Kroon: 'Regular Excitation Reduction for Effective and Efficient LP-Coding of Speech', ICASSP 1985, S.965-968
- /7/ P.Vary, C.Galand et al. 'Speech codec for the European Mobile Radio System', ICASSP 1988, New-York.