

Diffusion de l'heure par codage de la phase d'un émetteur de radiodiffusion à modulation d'amplitude.

RÉSUMÉ

Depuis quelques années plusieurs pays développés se sont dotés d'un système de distribution de temps codé par voie radioélectrique. La nécessité de disposer d'un émetteur spécialisé est toutefois une lourde charge qui peut apparaître comme intolérable.

Dans ces conditions, le CNET a suggéré dès 1972 d'utiliser en quelque sorte « gratuitement » un émetteur de radiodiffusion à large couverture territoriale, soit France-Inter 163,84 kHz en exploitant la partie basse fréquence de son spectre.

Avec la permission des responsables de TéléDiffusion de France et avec le concours du Bureau National de Métrologie nous avons pu expérimenter cette méthode qui semble très bien adaptée au but poursuivi.

SUMMARY

Dissemination of time signals by addition of phase modulation on amplitude modulated sound broadcasting transmitters.

A few years ago, some great nations have implemented different means to broadcast a coded time. But it raises many pecuniary difficulties, sometimes heavy.

The CNET suggested, since 1972, a cheap method using a big broadcasting emitter carrier wave for bearing a phase modulation of a time code.

With the permission of the staff of TeleDiffusion de France and being sponsored by the Bureau National de Métrologie we have been able to experiment this method that seems to be well adapted to the chosen purpose.

INTRODUCTION

Depuis de nombreuses années le Centre National d'Études des Télécommunications est responsable de la diffusion de signaux horaires par l'émetteur FFH (2,5 MHz - Sainte-Assise). La propagation en onde décimétrique est cependant très capricieuse et ne permet pas une diffusion réellement utile des signaux de temps. Aussi une expérimentation a-t-elle été entreprise en 1972 sur une modulation de phase de l'émetteur de radiodiffusion France-Inter. Les résultats se sont montrés très encourageants, c'est pourquoi nous avons poursuivi cette expérimentation pour obtenir actuellement un procédé de diffusion entièrement satisfaisant.

Il permet de recevoir les éléments déterminants de la date : année, mois, jour, heure, minute, seconde et se prête à un affichage et un enregistrement numérique du temps. La précision de définition de la seconde est de l'ordre de la milliseconde.

La mise en place de cette émission nécessitera une période probatoire de 3 ans et suivant le succès obtenu, il sera avisé d'une reconduction à long terme ou de la suppression de cette expérience.

Par la suite, des difficultés apparurent pour une mise en exploitation définitive. Ce délai a cependant été mis à profit pour la définition d'une standardisation internationale du codage. A l'occasion des réunions du CCIR, la délégation française a estimé souhaitable qu'une nouvelle émission française de ce type confirme un code européen déjà utilisé par l'émetteur ouest-allemand DCF77. Ce code solidement établi connaît déjà un certain succès commercial.

TYPE DE CODAGE DES SIGNAUX.
MODULATION EN AMPLITUDE.

Le code utilisé donne les informations d'année (par ex. 80 pour 1980) de mois, de jour du mois, de jour de la

semaine, d'heure, de minute et de seconde, celle-ci étant obtenue par comptage, à partir de la seconde zéro de la minute repérée par l'absence du signal de 59^e seconde. Les signaux modulés en amplitude, sont codés chaque seconde par réduction de la puissance émise pendant une durée variable : 0,1 s représentant le signal logique zéro et 0,2 s représentant le signal logique 1.

Le déroulement des signaux de seconde codés au cours de la minute est représenté figure 1. Il est à noter que

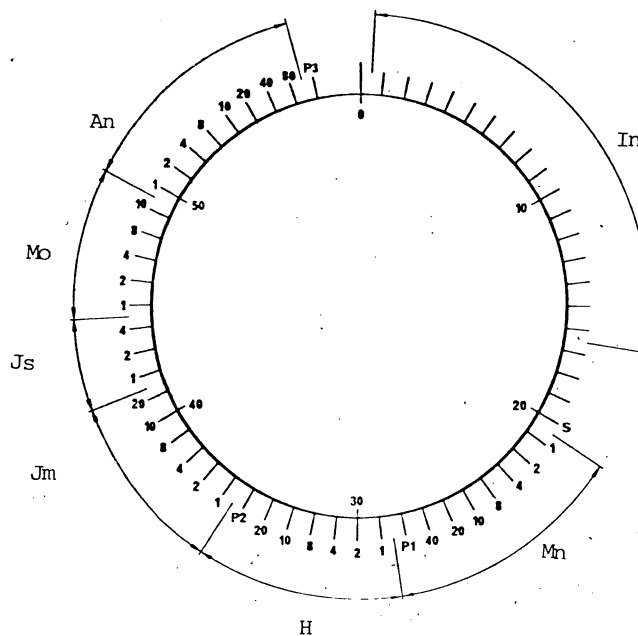


Fig. 1. — Schéma des informations codées.

An : Codage des années; Mo : Codage du mois; Js : Codage du jour de la semaine; Jm : Codage du jour du mois; H : Codage de l'heure; Mn : Codage de la minute; In : Secondes de valeur zéro non utilisées; P1, P2, P3 sont des bits de parité S de 0,2 s de durée marque le début du codage des informations.

Dans l'émission expérimentale sur France-Inter, les bits des secondes 17 et 18 marquent l'avance de l'heure émise par rapport au temps universel. Par exemple en France, l'heure d'hiver est spécifiée par + 1 (sur 17) et l'heure d'été par + 2 (soit 1 sur 18 et zéro sur 17). Si l'heure TU était diffusée les bits 17 et 18 seraient tous égaux à zéro. Notons cependant que suite à la réunion du CCIR de juin 1980 il est probable que le rôle des impulsions 17 et 18 sera inversé.

(1) Ingénieur en chef au CNET.

l'horloge émettrice doit avoir une minute d'avance sur l'heure réelle, car le récepteur passe son affichage à la seconde zéro de chaque minute, affichage contenant les données qu'il vient de recevoir au cours de la minute écoulée. Des impulsions supplémentaires sont prévues, dites de « parité », qui sont à 0 ou à 1 suivant que la séquence à laquelle elles sont rattachées comporte un nombre pair ou impair de 1 de façon que la somme de tous les 1 demeure toujours paire. Cela permet d'éliminer de fausses lectures, dues à l'action de parasites par exemple, pour éviter d'en tenir compte à l'affichage. Ce point établi, nous pouvons présenter la méthode de modulation de la phase de l'émetteur *France-Inter* 163,84 kHz.

MODULATION DE PHASE

En accord avec la Direction technique de *TéléDiffusion de France*, l'émetteur de *France-Inter* est stabilisé en phase. A l'émission, la constance de la phase du pilote correspond à une stabilité de fréquence de la porteuse de 1.10^{-12} environ. A la réception, il faut tenir compte de l'effet de propagation de nuit (de l'ordre de $0,1 \mu s$ en région parisienne), de commutation de blocs émetteurs, ainsi que de leur dérive thermique; ces effets se traduisent par de brusques changements de phase de l'ordre du radian environ deux fois par jour et des dérives de l'ordre du dixième de radian en quelques heures.

Par définition, cette phase est un étalon *absolu* vis-à-vis du récepteur qui ne dispose pas en lui-même d'éléments de comparaison ayant une aussi bonne stabilité. Tenant compte de ces différentes perturbations, l'observation de la phase de *France-Inter* est susceptible de conduire à une mesure dont la précision est de l'ordre du 10^{-11} en quelques heures d'observation.

Il est évident que, si nous modulons cette phase, une partie des qualités précédentes risque de disparaître. Aussi avons-nous prévu une modulation de phase par déplacement moyen nul pour chaque élément binaire du code, de manière à pouvoir toujours considérer comme valable la mesure de la phase de la porteuse dans sa valeur moyenne. Il convenait aussi d'éviter que la modulation n'occasionne de brusques changements de phase qui pourraient contrarier le bon fonctionnement de l'émetteur et passer en partie sur la modulation d'amplitude. Comme le code choisi demande 0,1 s pour identifier la valeur binaire 0 et 0,2 s pour la valeur binaire 1, la modulation la plus simple est conforme au modèle représenté *figure 2*. On constate que ces signaux sont des éléments d'oscillation en dents de

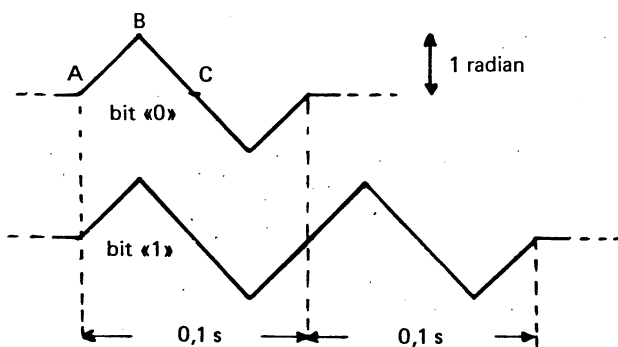


Fig. 2. — Modulation de la phase de la porteuse à chaque seconde.

scie de fréquence 10 Hz auxquels correspondent des déplacements de la fréquence porteuse de plus ou moins $20/\pi/s$ soit environ 6 Hz. Le fondamental de la fréquence de modulation est donc de 10 Hz. Il faut tenir compte de la forme non sinusoidale du signal et des transitoires de début et de fin. Si nous établissons un filtre ayant pour but d'isoler la bande basse destinée à la modulation de phase et d'éliminer la modulation d'amplitude, il faudra admettre une bande de 50 à 100 Hz.

Une telle bande déformera peu la modulation de phase et n'occasionnera un retard des signaux de temps dans le récepteur que d'une quantité voisine de 10 ms. Cette valeur est en fait une constante du récepteur et elle peut être mesurée une fois le récepteur convenablement réglé et accordé. Notons qu'un mauvais accord des circuits peut transformer une partie de la modulation d'amplitude en modulation de phase. Lors de la mise au point du récepteur il conviendra de rendre cet effet éventuel le plus petit possible, voire l'annuler complètement si la conception du récepteur est suffisamment soignée.

CONCEPTION DES RÉCEPTEURS

Pour la détection de phase il est naturel que le récepteur puisse se synchroniser sur la phase moyenne de l'émission reçue. Il convient donc de choisir, comme source pour l'oscillateur local, un oscillateur à quartz horloger destiné aux montres-bracelets dont la fréquence est voisine de 30,72 kHz. Cette manière de faire permet de réaliser un ensemble récepteur simple et robuste, avec possibilité de fonctionnement autonome pendant les arrêts de l'émetteur.

L'emploi de la modulation de phase présente de nombreux avantages par le fait qu'elle fonctionne encore correctement dans des conditions où les parasites rendent l'émission de radiodiffusion presque inintelligible. Elle n'est pas détruite par une saturation du récepteur et il est même recommandé de terminer la chaîne d'amplification par un étage à limitation d'amplitude dont la dynamique serait de l'ordre de 20 à 30 dB. Dans ce cas la modulation de phase détectée a une amplitude constante, « calibrée » même, ce qui rend la lecture de l'information de temps indépendante du niveau du signal reçu et de la profondeur de la modulation d'amplitude. Le signal de modulation de phase, une fois détecté, sera amplifié pour le transformer en signaux de type logique comme il est représenté sur la *figure 3*. Le fabricant des récepteurs peut préférer transformer le signal de détection en d'autres signaux que ceux que nous présentons ici. Cela dépend de sa conception du décodage, mais nous nous arrêterons seulement à ceux représentés sur cette figure.

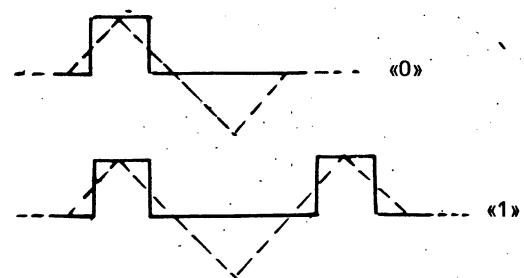


Fig. 3. — Mise en forme logique des signaux de modulation de phase.

Si, par un moyen quelconque, on fait en sorte que les deux types de signaux soient convertis en deux signaux de longueur simple ou double et étant ainsi revenu à la forme de l'onde reçue dans les récepteurs du type DCF77, les fabricants de ces derniers pourront simplement utiliser le même système de décodage pour afficher toutes les informations contenues dans le code.

Les systèmes de décodage sont des éléments qui actuellement sont devenus classiques, la tendance étant à l'utilisation progressive des microprocesseurs qui facilitent le câblage et diminuent les prix de revient. Notons qu'il n'est pas nécessaire de faire apparaître toutes les informations de code. Cela dépend de l'utilisation envisagée. Par exemple si on désire marquer un enregistrement, on cherchera parfois à noter toutes les informations, même l'année. Par contre un récepteur cherchant à attirer un plus grand public parce que moins cher, pourra se contenter du jour, de l'heure, de la minute et de la seconde, voire même moins.

**PRÉCISION POSSIBLE
DE LA MESURE DU TEMPS D'ARRIVÉE
DES SIGNAUX DE SECONDE.**

Nous avons fait, en 1975, une mesure sur le prototype de récepteur que nous avons construit dans le but de connaître la précision de la mesure du temps par la réception des signaux de seconde.

Le principe consistait à élaborer une impulsion de seconde ayant une liaison avec le signal de réception suivant un processus destiné à éliminer les causes principales de fluctuation. La figure 4 représente les schémas de principe de ce dispositif. Normalement si la réception est saturée, le signal détecté est stable en amplitude. Il se peut que cette clause ne soit pas toujours parfaitement obtenue, auquel cas l'amplitude du signal peut varier dans une certaine mesure. D'autre part le signal peut être affecté par un résidu de modulation d'amplitude se superposant à la modulation de phase. Aussi pour minimiser ces différents effets, après amplification et génération d'un signal logique, nous faisons apparaître les impulsions D et E correspondant aux flancs du signal logique. Nous mettons en service un compteur qui, alimenté par une source à 5 kHz, mesure la durée D E. Celle-ci durant en moyenne 25 ms, le comptage sera de l'ordre de 125. Si ensuite nous complétons le registre du compteur jusqu'à 250 en utilisant une fréquence de comptage de 10 kHz, l'impulsion correspondant à l'arrivée sur 250 se situe en coïncidence avec l'instant du point C.

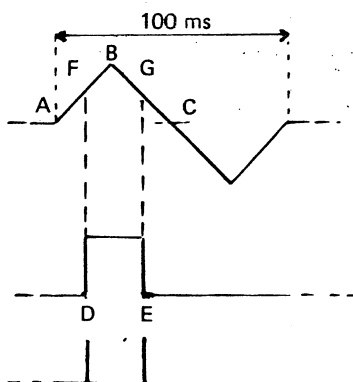


Fig. 4. — Mesure du temps d'arrivée du signal de seconde.

Cette méthode revient à situer un point de départ d'un comptage qui serait seulement basé sur un 10 kHz, à mi-distance entre les impulsions D et E soit, en fait, en coïncidence avec l'instant B. Si nous notons que le temps qui s'écoule entre G et C est de 12,5 ms, soit légèrement supérieur au temps de retard propre du récepteur, il sera recommandé d'arrêter le comptage non pas sur 250 mais quelque 10 ms plus tôt, soit vers 150.

Dans ce cas, l'impulsion de fin de comptage se situera au point C tel qu'il se trouve à l'émission, le retard du récepteur étant ainsi compensé. Cet ajustage, s'il se justifie, peut être fait en usine. L'utilisateur obtient par ce moyen une impulsion de référence en phase avec le signal émis, le repère de temps exact devant être mis en coïncidence avec le point C à l'émission.

En 1975, nous avons eu le temps de faire un essai statistique avec un système de mesure voisin et nous avons obtenu la courbe de dispersion représentée figure 5. On constate une dispersion quadratique moyenne de l'ordre de 0,36 ms. Ces résultats, constatés une seule fois sur un prototype non optimisé, permettent d'espérer de meilleures performances pour l'avenir.

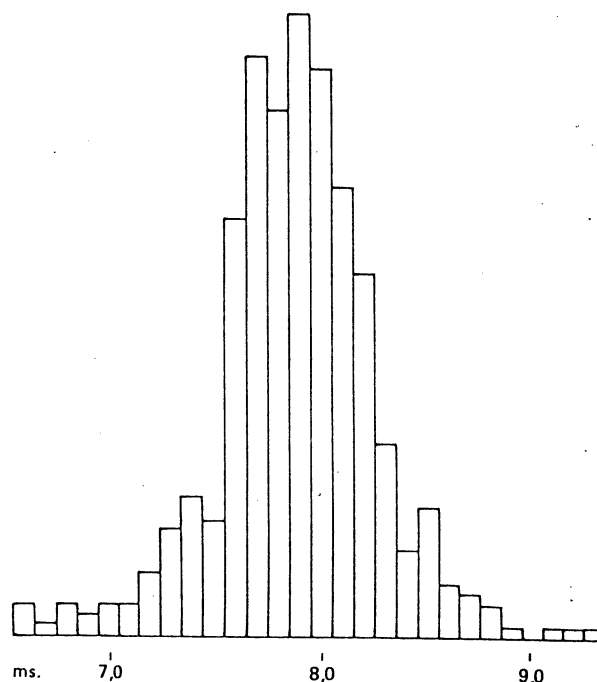


Fig. 5. — Histogramme effectué à partir de plus de 400 mesures consécutives sur le temps d'arrivée des impulsions de seconde en utilisant un récepteur prototype.

CONCLUSION

Cette nouvelle version du système de diffusion de l'heure par radiodiffusion a été expérimentée avec un plein succès, en dépit des mauvaises conditions de réception, lors de l'exposition Mesucora 1979, sous l'égide du Bureau National de Métrologie.

Il apparaît que ce serait là un moyen original, économique et immédiatement réalisable pour effectuer un service national de diffusion du temps codé avec une précision satisfaisante pour un grand nombre d'utilisateurs. Si l'intérêt d'un tel système est déjà évident en

France et en Europe, la possibilité de disposer presque gratuitement sur tout le territoire d'un étalon horaire précis peut même être un facteur de développement pour certains pays moins bien équipés.

A. GABRY

Ingénieur en Chef au CNET.
Division Dispositifs de traitement
du signal. Groupe Étalons de
fréquence et de temps.



196, rue de Paris, 92220 Bagneux
(tél. : 638.48.18.)

Bibliographie

- [1] GABRY A. — Diffusion de fréquences étalon et de signaux horaires à partir d'émetteurs de radiodiffusion à modulation d'amplitude. — 9^e congrès international de chronométrie (Stuttgart, 1974), p. A3-1.
- [2] GABRY A., FAUCHERON G., LANDRÉA D., LUCAS J. — Utilisation de l'émetteur O.R.T.F. France-Inter grandes ondes pour la diffusion d'informations de temps et de fréquences. — *CNET, Note Technique, ESF573*.
- [3] FAUCHERON G., GABRY A. — Récepteurs horaires pour émissions ondes longues modulées en phase par des signaux horaires. *CNET, Note Technique, ESF585*.

Remerciements : Nous devons remercier ici les responsables de *TéléDiffusion de France*, et particulièrement M. R. BUFFARD qui nous ont permis cette expérimentation, ainsi que ceux du *Bureau National de Métrologie*, particulièrement MM. G. DENÈGRE et C. LAPUYADE qui ont appuyé ce projet et nous ont permis d'en faire une démonstration sur leur stand, à *Mesucora 1979*.