

RADIO NUMÉRIQUE : ÉCOUTEZ LE SILENCE

Finis les parasites et les interférences, finis les "décrochages" intempestifs de l'autoradio : la radio numérique nous promet pour 1995 la "qualité laser" des disques compacts, quelles que soient les conditions d'écoute, et des prix comparables à ceux des appareils d'aujourd'hui.

LES TROIS CLASSES DU TRAIN D'ONDES : LA MODULATION D'AMPLITUDE...

Pour illustrer les différents types de radiodiffusion, imaginons un train...

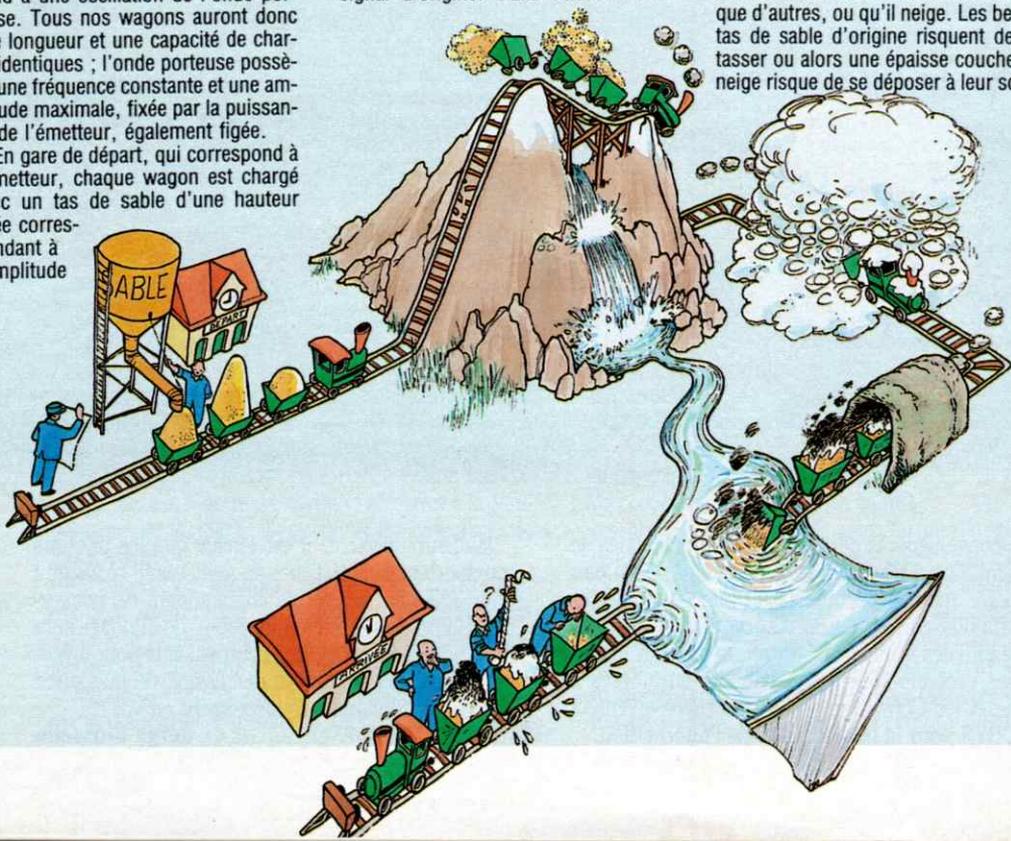
Dans le cas de la modulation d'amplitude, nos wagons transportent des tas de sable. Chaque wagon correspond à une oscillation de l'onde porteuse. Tous nos wagons auront donc une longueur et une capacité de charge identiques ; l'onde porteuse possède une fréquence constante et une amplitude maximale, fixée par la puissance de l'émetteur, également figée.

En gare de départ, qui correspond à l'émetteur, chaque wagon est chargé avec un tas de sable d'une hauteur fixée correspondant à l'amplitude

instantanée du signal à transmettre. En gare d'arrivée, donc au niveau du récepteur, une équipe voyant défiler le train devant elle, note la hauteur du tas de chaque wagon et restitue ainsi le signal d'origine. Dans l'absolu tout

marque très bien et l'information reçue sera effectivement conforme à celle émise.

Cependant, supposons que le voyage soit long, que les voies comportent des sections moins bien entretenues que d'autres, ou qu'il neige. Les beaux tas de sable d'origine risquent de se tasser ou alors une épaisse couche de neige risque de se déposer à leur som-



Obténir en radio un son équivalent à celui du disque compact n'est plus une utopie. Les progrès réalisés dans les domaines du codage et de la transmission des données rendent cette perspective réaliste à court terme : dans quelques années, la radio numérique pourrait ainsi supplanter la FM.

Cependant, avant de nous pencher sur ce nouveau procédé de transmission, voyons par où pêchent nos diffusions hertziennes actuelles.

Deux techniques de radiodiffusion se partagent aujourd'hui les ondes : la modulation d'amplitude (AM) et la modulation de fréquence (FM). L'une et l'autre utilisent, comme support de la transmission, une onde électromagnétique appelée porteuse. Leur différence réside dans le mode de codage. Comme toutes les ondes, les ondes électromagnétiques se caractérisent, entre autres, par une fréquence (le nombre de vibrations par seconde, exprimé en hertz) et une amplitude. La modulation consiste à modifier l'un de ces paramètres sur la porteuse.

Dans le cas de la modulation d'amplitude, c'est l'amplitude de la porteuse (en d'autres termes, l'intensité avec laquelle elle est émise) qui est "modulée", c'est-à-dire qui varie au même rythme et dans les mêmes proportions que la tension électrique induite par le signal sonore. Les transmissions en modulation d'amplitude sont les plus anciennes, car les plus simples à mettre en œuvre. Elles utilisent relativement peu de place dans la gamme des fréquences, mais souffrent de leur trop grande sensibilité aux parasites. L'onde modulée en amplitude faiblit à mesure que l'on s'éloigne de l'émetteur et devient de plus en plus fragile. Toute source de rayonnement électromagnétique (éclairages fluorescents, moteurs électriques, circuit d'allumage des véhicules...) produit alors des "pics" qui, s'ajoutant à l'amplitude de l'onde porteuse, la modifient artificiellement et se traduisent par des parasites au niveau de sa réception. On le constate aisément sur tout récepteur grandes ou petites ondes. L'émission n'est jamais totalement perdue tant que l'on reste à

... LA MODULATION DE FRÉQUENCE...

met. Dans ce cas les hauteurs relevées par l'équipe de la gare d'arrivée ne seront plus conformes à celles prévues lors du chargement. L'information reçue est "parasitée".

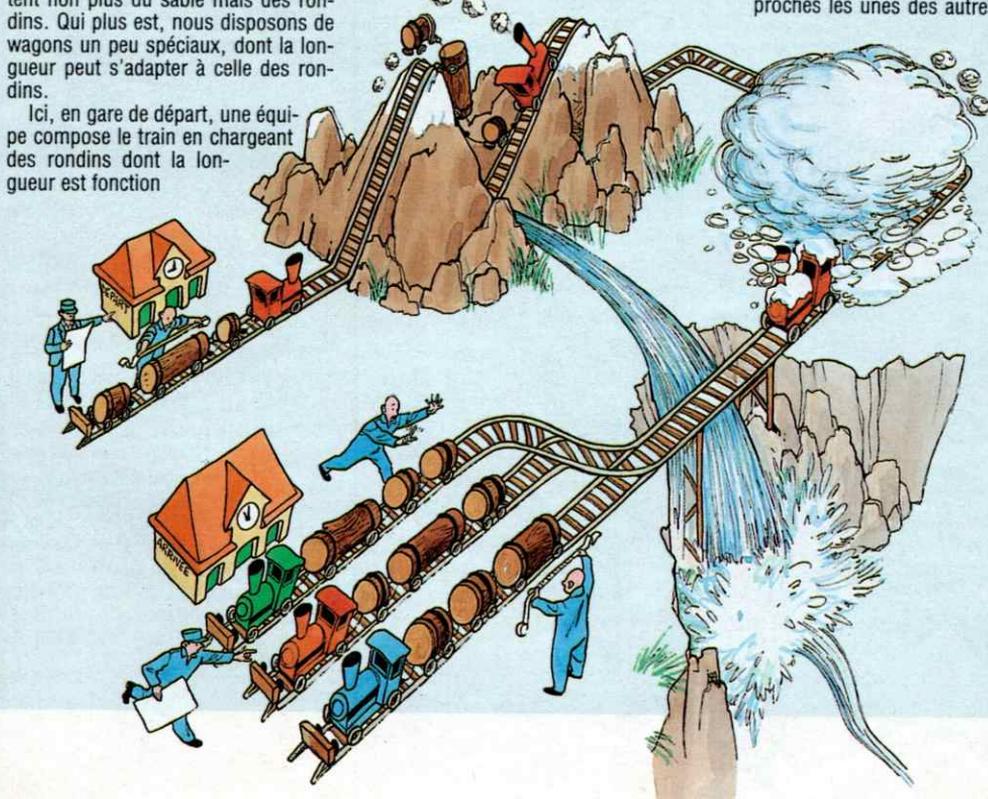
Lors d'une diffusion en modulation de fréquence, nos wagons transportent non plus du sable mais des rondins. Qui plus est, nous disposons de wagons un peu spéciaux, dont la longueur peut s'adapter à celle des rondins.

Ici, en gare de départ, une équipe compose le train en chargeant des rondins dont la longueur est fonction

de l'amplitude instantanée du signal à transmettre. Notre train est donc composé de wagons de longueur variable. Qu'il pleuve, neige ou vente, cette longueur est immuable. A l'arrivée une équipe de contrôle mesure la durée qui sépare le passage de deux wagons

successifs et reconstitue ainsi le signal d'origine sans s'attacher à la manière dont ils sont chargés. Il n'y a donc que peu de chance pour que le signal soit entaché d'erreur.

Cependant si en gare, par exemple, plusieurs voies sont parallèles, trop proches les unes des autres et que ...



portée de l'émetteur, mais elle se trouve peu à peu noyée dans un océan de parasites.

Autre inconvénient de la modulation d'amplitude : les fréquences porteuses étant relativement basses — en raison des contraintes techniques à l'époque de sa mise en œuvre —, la bande passante (gamme des fréquences sonores restituées) reste relativement modeste (de 50 Hz à 6 000 Hz environ, au lieu de 20 Hz à 20 000 Hz pour une chaîne hi-fi). Rappelons en effet que, pour que le signal émis puisse être décodé à la réception, chacune de ses périodes doit comporter, à l'émission, un grand nombre d'oscillations de la porteuse. En grandes ondes, par exemple, où la fréquence de la porteuse reste relativement basse, les fréquences élevées ne seront pas transmissibles. Conséquence : les aigus passent mal et la transmission manque de présence.

La modulation de fréquence permet de corriger ces défauts. Cette fois, ce sont les variations de fréquence de l'onde porteuse qui véhiculent l'information. A chaque instant, l'écart de fréquence évo-

lue en fonction de la forme du signal à transmettre. La puissance d'émission est constante et, l'amplitude ne jouant aucun rôle dans le codage, la transmission résiste mieux aux parasites. La distance séparant émetteur et récepteur n'influe pas davantage sur la qualité de la réception (à l'intérieur de la zone couverte par l'émetteur, bien sûr). En fait, le récepteur se contente de mesurer l'intervalle de temps entre deux passages à zéro de la fréquence porteuse. Tant que celle-ci se distingue des parasites, ce qui est généralement le cas, le système est en mesure de fonctionner parfaitement. En théorie, une transmission FM est soit parfaite, soit inexistante. On peut le vérifier sur les autoradios. La réception reste bonne jusqu'au moment où l'appareil "décroche" franchement. Seuls certains parasites venant affecter la phase de la porteuse ou intervenant à proximité de son passage à zéro peuvent entacher la qualité de la transmission en provoquant un effet de souffle.

Enfin, les fréquences utilisées en FM étant beau-

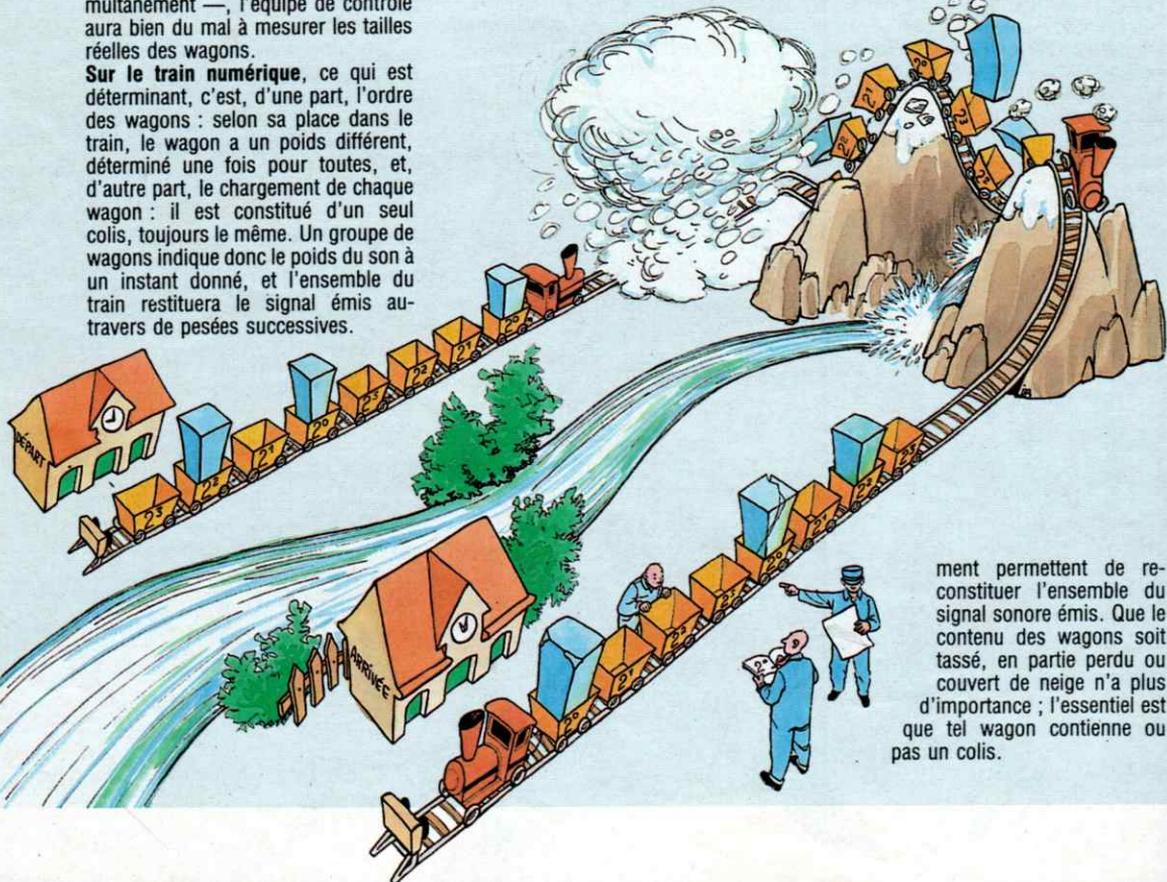
... ET LA DIFFUSION NUMÉRIQUE

plusieurs trains arrivent en même temps — ce qui est le cas sur la bande FM où plusieurs stations émettent simultanément —, l'équipe de contrôle aura bien du mal à mesurer les tailles réelles des wagons.

Sur le train numérique, ce qui est déterminant, c'est, d'une part, l'ordre des wagons : selon sa place dans le train, le wagon a un poids différent, déterminé une fois pour toutes, et, d'autre part, le chargement de chaque wagon : il est constitué d'un seul colis, toujours le même. Un groupe de wagons indique donc le poids du son à un instant donné, et l'ensemble du train restituera le signal émis au travers de pesées successives.

Au départ, chaque wagon reçoit, ou non, son colis. Et à l'arrivée, deux choses seulement sont contrôlées : le

wagon est-il ou non chargé, et quel est son numéro ? Ces deux constatations faites sur chaque wagon successive-



ment permettent de reconstituer l'ensemble du signal sonore émis. Que le contenu des wagons soit tassé, en partie perdu ou couvert de neige n'a plus d'importance ; l'essentiel est que tel wagon contienne ou pas un colis.

coup plus élevées qu'en AM, le spectre sonore transmissible est plus large. Les aigus sont donc transmis correctement et on peut également loger, sur une fréquence supérieure à celle de la bande audible, une sous-porteuse permettant le codage de la stéréophonie.

La bande FM est donc actuellement la seule en mesure de retransmettre des programmes dans des conditions satisfaisantes. Mais il suffit de tourner le bouton d'un récepteur pour constater qu'elle est entièrement saturée. La gamme de fréquences qui lui est attribuée est limitée, et plusieurs stations émettent simultanément sur des fréquences très proches les unes des autres. Ainsi, lorsqu'on se trouve en limite de portée de l'émetteur choisi, et proche d'un émetteur de fréquence voisine, ce dernier vient brouiller la réception. A bord d'un véhicule, par exemple, l'autoradio a bien du mal à conserver une qualité d'écoute égale pendant les déplacements. Pour remédier à cet inconvénient, il faudrait multiplier le nombre de réémetteurs ou augmenter la puissance de ceux déjà installés. Ce qui est exclu en raison, précisément, de la saturation de la bande FM. Hormis quelques palliatifs, comme le Radio Data System qui permet à l'autoradio de changer automatiquement de fréquence pour se caler sur l'émetteur le plus proche diffusant le même programme (voir *Science & vie* n° 858, p. 118), on ne dispose donc d'aucune solution efficace.

Autant de problèmes que le numérique pourrait résoudre. En effet ici on ne s'attache plus ni à l'amplitude, ni à la forme du signal, mais à sa présence ou à son absence, un peu comme en morse — code réputé justement pour son efficacité — quelques soient les conditions de transmission.

Par ailleurs, il est incontestable que l'on assiste aujourd'hui au développement des techniques numériques, tant au niveau de la production des programmes qu'à celui de l'enregistrement. Il devenait donc souhaitable de rendre cohérent l'ensemble enregistrement, diffusion, réception et de proposer aux usagers un service de radiodiffusion numérique d'une qualité équivalente à celle du disque compact.

Un système de diffusion numérique, baptisé DAB (pour *Digital Audio Broadcasting*, littéralement : diffusion sonore numérique), est donc en cours de développement au Centre commun d'études de télédiffusion et télécommunications (CCETT) de Rennes. Ce système diffère radicalement de la modulation d'amplitude ou de fréquence. Leur seul point commun est l'utilisation d'une onde électromagnétique comme porteuse. Mais, en FM comme en AM, le signal sonore était traité de façon analogique (c'est-à-dire sous forme de variations continues) et intégré directement dans les paramètres de l'onde porteuse. Avec le numérique, la porteuse ne transmet qu'une succession de "0" et de "1" correspondant au signal codé en numérotation binaire.

Dès lors, la qualité de la restitution au niveau du récepteur n'est plus sujette aux distorsions liées à la distance ou à l'environnement. Il suffit au récepteur de reconnaître le signal, même avec une onde porteuse affaiblie ou en présence de parasites, pour qu'il soit en mesure de reconstituer le message.

La numérisation (le codage du son) fait appel aux mêmes techniques que le disque compact. Alors que le signal sonore, de type analogique, est à évolution continue, le passage au numérique impose, par définition, une série de mesures successives. Pour cela, un "échantillonneur" va en quelque sorte découper le son en tranches, à intervalles de temps réguliers extrêmement rapprochés (48 000 fois par seconde dans le cas présent) pour garantir une restitution correcte du son. Chaque "tranche", ou échantillon, est ensuite "pesée" par un convertisseur analogique-numérique. Celui-ci en mesure la tension en volts et de plus il en exprime le résultat en binaire.

Le convertisseur, en effet, peut être comparé à une balance dont les poids seraient ici étalonnés en fractions de volts au lieu de kilos. A chaque "pesée", le convertisseur indique quels poids ont été utilisés. Ces derniers sont gradués en puissances entières de 2. Une tension de 107 millivolts, par exemple, se traduira par le nombre binaire "1101011" où les 0 et les 1 apparaissent dans l'ordre des puissances décroissantes de 2, de 2^6 à 2^0 . Le 1 indique la présence de la puissance correspondante, le 0 indique son absence. Dans notre exemple, 1101011 équivaut à $2^6 + 2^5 + 2^3 + 2^1 + 2^0$, (la somme des puissances de 2 dont la présence est signalée par la position des 1) ce qui fait bien 107. Nous avons utilisé sept "poids" pour coder la valeur 107 : en numérique, nous dirons 7 bits (le bit étant l'unité élémentaire d'information ne pouvant prendre que deux valeurs distinctes : 0 ou 1).

Pour des valeurs plus grandes, un plus grand nombre de bits devra être employé. Mais comme il n'est évidemment pas possible d'accroître indéfiniment le nombre de bits du codage, les mesures sont effectuées avec une approximation. Celle-ci équivaut au plus petit écart mesurable entre deux valeurs proches, à savoir la valeur du bit le plus faible (celui correspondant à 2^0 , c'est-à-dire 1). Si, par exemple, le codage s'effectue sur 8 bits, on pourra exprimer 256 valeurs numériques distinctes depuis zéro (tous les bits sont en 0) jusqu'à 255 (tous les bits sont en 1). Notre signal sera donc numérisé avec une précision de $1/256$.

Cette précision correspond au rapport signal/bruit, habituellement exprimé en décibels, mentionné dans les caractéristiques des appareils hi-fi (le dernier bit constituant une imprécision sur la mesu-

On ne s'attache plus ni à l'amplitude ni à la forme du signal, mais à sa présence ou à son absence.

RADIO NUMÉRIQUE : ÉCOUTEZ LE SILENCE

(suite de la page 129)

re, on peut en effet l'assimiler à un bruit parasite). La conversion s'opère en multipliant par 20 le logarithme décimal de la précision. Ainsi, pour notre exemple de codage sur 8 bits, nous obtenons $20 \times \log 256$, soit environ 48 décibels de rapport signal/bruit. Dans le cas du disque compact où la quantification du signal sonore s'effectue sur 14 bits nous avons une précision de $1/2^{14}$, soit $1/32\,768$. Si de nouveau nous l'exprimons en décibels nous obtenons 90,3 dB, soit la valeur du rapport signal/bruit généralement annoncée par les constructeurs ("supérieure à 90dB") pour la dynamique de leurs appareils.

Cette recherche de la précision et de la qualité sonore se heurte cependant, dans le cas de la radio, à une limite imposée par la capacité de débit des transmissions. Dans l'absolu, pour transmettre un programme stéréophonique numérisé comme un disque compact, il faudrait émettre 2 fois 768 000 bits par seconde (768 kilobits par canal), à raison de 16 bits (14 bits de codage plus 2 bits de contrôle) pour chacun des 48 000 échantillons à transmettre chaque seconde mentionnés plus haut. Ce débit, bien

que techniquement réalisable, monopoliserait pour sa transmission une plage de fréquences beaucoup trop large et aboutirait à une saturation rapide du réseau. Pour envisager une application grand public de la radio numérique, il fallait donc trouver un moyen de réduire le volume de données à transmettre dans des proportions importantes. Deux considérations ont permis de guider les chercheurs sur cette voie :

- d'abord, la possibilité de soumettre les données numérisées à un traitement informatique ;
- ensuite, bien sûr, les limites de l'appareil auditif humain.

Un dispositif de compression de données, baptisé codeur-décodeur Musicam, permet ainsi de ramener le flot initial à un débit, compatible avec celui des canaux radio, de l'ordre de 100 kilobits par seconde et par canal. Sa conception est fondée sur l'étude de la perception psycho-physiologique des sons complexes qui a notamment mis en évidence des phénomènes de "masquage". Ainsi, le cerveau n'extrait de ce qu'il reçoit que les fréquences qui lui sont utiles à la reconnaissance du son. Les autres composantes ne sont pas prises en compte. Il est, dès lors, inutile de les transmettre.

On peut également éliminer toutes les fréquences qui se situent en dehors du spectre sonore audible (entre 20 et 20 000 Hz). Il faut se souvenir, par exemple, que le timbre d'un son se décompose en un fondamental et des harmoniques. Dans le cas d'un son dit "pur", comme celui d'une flûte, seule la fondamentale est présente. Pour une trompette, au contraire, plusieurs harmoniques viennent s'y ajouter. Or, la fréquence de chaque harmonique est un multiple de celle du fondamental. Ainsi, pour un fondamental de 10 KHz, le premier harmonique possèdera déjà une fréquence de 20 KHz, à la limite du domaine audible. Au-delà, l'oreille n'est plus en mesure de distinguer un timbre particulier et le signal n'a donc plus besoin d'être codé.

Pour faciliter le tri lors de l'émission, le Musicam répartit le signal musical en 32 sous-bandes correspondant à autant de plages de fréquences bien définies. Chaque sous-bande est analysée pour voir si une information y est ou non présente. Son contenu est ensuite passé au crible afin d'éliminer tous les sons "inutiles" en prenant en compte les phénomènes de masquage évoqués plus haut. Grâce à ce "filtre", il devient ainsi possible de ne transmettre que 16 % environ des données initiales sans dégradation perceptible de la musique.

Les problèmes de transmission n'en sont pas pour autant tous résolus. Si le numérique résiste particulièrement bien aux parasites, il n'en a pas moins des limites. C'est généralement en ville que les difficultés sont les plus fréquentes. En effet, la présence de constructions est génératrice de réflexions parasites des ondes radio. Comme en optique,

LA CULTURE GENERALE

clé de votre réussite aujourd'hui !

Oui, dans toutes vos relations, pour tous les emplois, on vous jugera sur votre culture. Votre réussite professionnelle et personnelle en dépendent.

Oui, grâce à la Méthode de Culture Générale de l'ICF, claire et pratique, vous pouvez en quelques mois compléter vos bases, acquérir plus de confiance et une bien meilleure aisance, affirmer votre personnalité et être à l'aise dans tous les milieux..

20 cours (Arts, littératures, droit, philosophie, économie, sciences, politique, etc...). Le parcours santé de l'équilibre et de la réussite., accessible à tous.

Documentation gratuite à : Institut Culturel Français, Service 7144, 35 rue Collange 92303 Paris-Levallois, Tél. : (1)42.70.73.63

BON D'INFORMATION GRATUITE

à compléter et retourner à ICF, service 7144
35 rue Collange 92303 Paris-Levallois.

Veuillez m'envoyer à l'adresse ci-dessous, la documentation complète sur votre méthode.

Nom :

Adresse :

et en fonction de la disposition des bâtiments les uns par rapport aux autres, de leur espacement, etc., on obtient des phénomènes d'interférences constructives ou destructives. Après réflexion, soit le faisceau d'ondes se trouve en phase avec lui-même et son amplitude est doublée, soit il se trouve en opposition de phase et "s'autodétruit" (avec évidemment tous les cas intermédiaires possibles). On assiste donc à l'apparition de zones d'ombre virtuelles interdisant toute réception qu'elle soit numérique ou non. Lors de la réception sur un autoradio, décrochements et interférences se manifestent ainsi régulièrement alors qu'à priori aucun obstacle entre l'émetteur et le récepteur ne les justifie.

Comme il s'agit essentiellement d'un problème d'interférences, la perte de réception en un point précis ne se produira que pour une fréquence donnée, deux ondes de fréquences différentes ne répondant pas aux mêmes conditions interférentielles. Pour garantir la fiabilité des transmissions numériques, on a donc eu l'idée de ne plus acheminer le signal à l'aide d'une fréquence unique mais par l'intermédiaire de plusieurs sous-porteuses de fréquences assez éloignées les unes des autres pour "casser" le système interférentiel. Ce qui était un inconvénient à l'origine se traduit finalement par un gain d'efficacité. Chaque fréquence transmet des éléments redondants d'information. Ainsi, même en cas de perte totale de l'une d'entre elles, il est possible d'en reconstituer le contenu grâce aux informations "excédentaires" des autres et le système n'est plus sensible aux réflexions et aux échos parasites. Cette opération, qui présente de grosses difficultés en analogique (AM et FM), a l'avantage d'être relativement simple en numérique.

De plus, puisque les interférences ne sont plus gênantes pour le procédé de transmission, on peut se permettre d'en créer de nouvelles. Jusqu'à présent, deux émetteurs calés sur une fréquence identique et desservant une même zone voyaient leurs effets se contrarier et, au lieu d'améliorer la réception, en dégradait encore la qualité. En numérique, il est possible d'installer des réémetteurs sur la même fréquence afin d'étendre la zone de couverture sans pour autant encombrer davantage la bande attribuée. Du même coup la puissance des émetteurs peut être réduite dans de fortes proportions. Et surtout, à la différence des réseaux FM actuels, chaque station n'utilisera qu'une seule fréquence pour couvrir tout le territoire, d'où une économie considérable des ondes radios disponibles et un meilleur confort d'écoute avec des récepteurs mobiles comme les autoradios.

Des émissions expérimentales ont déjà été réalisées avec succès sur la ville de Rennes et le procédé devrait s'étendre à la France entière entre 1995 et 2000.

Henri-Pierre PENEL

Des méthodes modernes permettent maintenant d'acquérir très vite une mémoire excellente.

Comment obtenir une mémoire étonnante en quelques semaines

Avez-vous remarqué que certains d'entre nous semblent tout retenir avec facilité, alors que d'autres oublient rapidement ce qu'ils ont lu, ce qu'ils ont vu ou entendu? D'où cela vient-il? Les spécialistes des problèmes de la mémoire sont formels: cela vient du fait que les premiers appliquent (consciemment ou non) une bonne méthode de mémorisation alors que les autres ne savent pas comment procéder. Autrement dit, une bonne mémoire, ce n'est pas une question de don, c'est une question de méthode. Des milliers d'expériences et de témoignages le prouvent. En suivant la méthode que nous préconisons au Centre d'Etudes, vous obtiendrez de votre mémoire (quelle qu'elle soit actuellement) des performances à première vue incroyables. Par exemple, vous pourrez, après quelques jours d'entraînement facile, retenir l'ordre des 52 cartes d'un jeu que l'on effeuille devant vous ou encore rejouer de mémoire une partie d'échecs. Vous retiendrez aussi facilement la liste des 95 départements avec leur numéro-code. Mais naturellement, le but essentiel de la méthode n'est pas de réaliser des prouesses de ce genre mais de donner une mémoire parfaite dans la vie courante: c'est ainsi qu'elle vous permettra de retenir instantanément le nom des gens avec lesquels vous entrez en contact, les courses ou visites que vous avez à faire (sans agenda), l'endroit où vous rangez vos affaires, les chiffres, les tarifs, etc.

Les noms, les visages se fixeront plus facilement dans votre mémoire: 2 mois ou 20 ans après, vous pourrez retrouver le nom d'une personne que vous rencontrerez comme si vous l'aviez vue la veille. Si vous n'y parvenez pas aujourd'hui, c'est que vous vous y prenez mal, car tout le monde peut arriver à ce résultat à condition d'appliquer les bons principes.

La même méthode donne des résultats peut-être plus extraordinaires encore lorsqu'il s'agit de la mémoire dans les études. En effet, elle permet d'assimiler, de façon définitive et en un temps record, des centaines de dates de l'histoire, des milliers de notions de géographie ou de science, l'orthographe, les langues étrangères, etc. Tous les étudiants devraient l'appliquer et il faudrait l'enseigner dans les lycées. L'étude devient alors tellement plus facile! Si vous voulez avoir plus de détails sur cette remarquable méthode, vous avez certainement intérêt à demander le livret gratuit proposé ci-dessous, mais faites-le tout de suite car, actuellement, vous pouvez profiter d'un avantage exceptionnel.

GRATUITS 1 brochure + 1 test de votre mémoire

Découpez ce bon ou recopiez-le et adressez-le à: Service M, Centre d'Etudes, 1, avenue Stéphane-Mallarmé, 75847 Paris Cédex 17.

© C.E., Paris, 1988
 Veuillez m'adresser le livret gratuit «Comment acquérir une mémoire prodigieuse» et me donner tous les détails sur l'avantage indiqué. Je joins 3 timbres pour frais. (Pour pays hors d'Europe. Joindre 5 coupons-réponse.) M 15 F

Mon nom: Prénom:
 (en majuscules S.V.P.)

Mon adresse:

Code postal: Ville: