

LA TELEVISION AMATEUR EN NUMERIQUE (ATVNum) : POURQUOI PAS ET (EVENTUELLEMENT) COMMENT ?

par Jacques GRUSON F6AJW

PREAMBULE :

L'auteur de cette communication n'a pas la prétention de proposer des solutions toutes faites, directement applicables, mais cherchera plutôt à déterminer les motivations qui nous pousseraient à tenter la difficile expérience de l' ATVNum. Un retour sur les modulations utilisées sur les différents supports actuels et un parallèle avec nos possibilités d'applications seront proposés. Quelques pistes d'expérimentations pour l'avenir seront suggérées mais la réussite dans ce domaine reposera sur une réelle mobilisation des forces vives. Le cas échéant, certains sujets pourront être approfondis dans l'avenir si d'aucuns y voient la nécessité.

QUELLES POURRAIENT ETRE NOS MOTIVATIONS POUR ABORDER LE NUMERIQUE ?

- **Etre au goût du jour ?** Cela semble à priori insuffisant comme motivation car l'ATV analogique actuelle fonctionne très correctement et tire en partie profit du matériel tombé en désuétude de diffusion satellite analogique au moins pour les bandes supérieures à 1.2 GHz (modulation FM).

- **La production vidéo d'amateur en numérique** devient possible à partir de caméscopes du commerce qui se généralisent et dont les plus perfectionnés permettent de réenregistrer sur un support numérique des programmes même d'origine analogique après traitement ad-hoc (compression, montage, titrage, trucage puis report sur CD Vidéo.... etc) via un PC. La disponibilité de PC de plus en plus rapides équipés de disques durs de grande capacité (20 à 40 GigaOctets), ainsi que de cartes spécialisées avec des interfaces spécifiques (IEEE 1394 ou analogique en entrées / sorties) et des logiciels conviviaux désormais accessibles au grand public, a fait pour beaucoup. Il est possible de convertir ses signaux aux formats MPEG 1 ou 2 (voir plus loin) mais en temps différé ; toutefois le codage direct en MPEG est presque à notre portée (de bourse...). L'amateur se sent maintenant frustré de devoir encore convertir ses signaux en analogique pour les diffuser et recevoir ceux de ses correspondants, au détriment d'une perte de qualité.

- **Des décodeurs numériques** se généralisent dans nos foyers pour la réception des bouquets commerciaux et la tentation est grande pour l'amateur trop (?) curieux de vouloir les réutiliser à d'autres fins. Méfiance toutefois car sauf exception, ce sont des équipements propriétaires « fermés » qu'il sera difficile d'adapter comme cela a été aisé en analogique... On trouve ce type de décodeurs (également dénommés Set Top Box, voire IRD : Integrated Receiver Decoder) principalement pour le Satellite (produits propriétaires des opérateurs ou du marché libre), le Câble (propriétaires quasiment exclusivement), voire pour l'hertzien numérique pour le moment uniquement disponibles à l'étranger mais pour la France, il faudra attendre encore au moins jusqu'en fin 2002 (mais on pourrait envisager de s'approvisionner en Grande Bretagne où ces décodeurs sont « presque » gratuits ; voir à ce titre ce que prévoient nos collègues britanniques...). On voit également fleurir dans nos foyers **des lecteurs DVD** fonctionnant en MPEG2 mais qui n'ont pour interface d'entrée que le disque DVD ; dans un avenir proche, tout un chacun sera en mesure de graver ses propres DVD et de les relire à partir d'un lecteur de salon relativement économique, mais malheureusement en

sortie analogique, sauf pour les sons, pour éviter d'éventuelles duplications (droits d'auteurs obligent...).

LES AMATEURS ONT-ILS REELLEMENT BESOIN DE LA TECHNIQUE NUMERIQUE A L'EMISSION ?

- A part la frustration éventuelle déjà citée plus haut de devoir reconverter en analogique une production numérique, nous n'avons pas les mêmes besoins qu'un opérateur de bouquet commercial de diffuser de façon plus économique ses programmes : 8, voire 10 programmes dans un répéteur satellite ou un canal du Câble au lieu d'un seul en analogique. Néanmoins **les caractéristiques du numérique pour les TV amateurs sont également séduisantes** : qualité constante pour une puissance assez faible avant décrochage brutal caractérisé par des pixelisations et gels d'image, des clics dans le son avant coupure sont des particularités du numérique.

- Nous souhaitons **diffuser un seul programme** vidéo et un son, voire une stéréo et éventuellement des données d'accompagnement mais ceci **de la façon la plus efficace possible** (signal robuste, portée la plus grande possible) avec un bon compromis entre qualité et performances.

- **Des transmissions ATV simultanées** dans nos bandes de fréquences (basses en particulier) d'images issues de plusieurs amateurs seraient souhaitables comme par ailleurs, en FM ou BLU, plusieurs QSO cohabitent dans nos bandes de fréquences sans (trop) se brouiller. On pourrait donc souhaiter **des émissions numériques utilisant un spectre étroit** : bon compromis entre un débit numérique (en Mégabits par seconde) suffisant pour diffuser nos applications et un faible encombrement spectral (en MégaHertz).

RAPPELS SUR LES PRINCIPAUX SUPPORTS DE DIFFUSION NUMERIQUE ET LES MODULATIONS UTILISEES.

- **Sur satellites (ASTRA, HOT-BIRD ou autres) :** les diffusions ont débuté depuis 1996 pour les opérateurs commerciaux de bouquets numériques connus sur le marché français. La norme de diffusion utilisée est dite « **DVB-S** » de Digital Video Broadcasting-Satellite: il s'agit d'une modulation définie par le consortium européen DVB et normalisée par l' ETSI, relativement simple dite **QPSK** (transport de 2 bits par symbole), utilisant des canaux relativement larges (33 ou 36 MHz) pour des débits utiles usuels de l'ordre de 38 Mégabits par seconde pour le flux numérique (ou **TS** : Transport Stream), donc de l'ordre du bit par Hertz. Un code correcteur d'erreurs interne, dit de **VITERBI (FEC** ou Forward Error Corrector de $\frac{3}{4}$ utilisé en général soit 4 bits diffusés pour 3 bits utiles), est utilisé pour corriger les effets d'une réception DX d'un satellite géostationnaire situé à 36000 kilomètres mais **en visibilité directe obligatoire** à l'aide en général d'une petite antenne parabolique de 45 à 75 centimètres. On parle alors de signal reçu avec un rapport C/N ou porteuse à bruit de 6 à 10 dB environ pour les spécialistes... Par ailleurs, un code correcteur d'erreurs externe de **REED-SOLOMON** est également utilisé afin de corriger au mieux les erreurs en réception (erreurs inter-symboles : 0 pris pour un 1 ou inversement). On parle également d'un débit symboles de 27.5 MBauds dans les conditions ci-dessus qui définissent **le codage de canal**. Le codage utilisé pour la vidéo est dit MPEG2 (Motion Picture Expert Group) et MPEG1 pour le son et ceci est le cas **quels que soient les supports de diffusion** ; on parle alors de **codage de source** des programmes. Remarque : les valeurs de débits et de bande passante sont surabondantes par rapport à nos besoins ou possibilités de certaines des bandes utilisables (à part monter en fréquences : 5.7, 10 GHz et au-dessus). Il est possible d'utiliser en diffusion

satellite une variante de la norme dite **SCPC** (Single Channel Per Carrier) qui ne nécessite qu'une largeur de 8 à 9 MHz, par opposition au **MCPC** (Multiple Channel per Carrier) utilisant toute la largeur du canal satellite, et qui permet un débit utile de l'ordre de quelques Mbits/s suivant les paramètres de modulation. Ceci semblerait, de prime abord, bien adapté à nos besoins en ATVNum pour les bandes de fréquences > à 1.2 GHz mais méfiance toutefois car la modulation QPSK d'une porteuse est simple mais relativement fragile vis-à-vis des échos, rotations de phase qui caractérisent nos conditions de réception. **Néanmoins cette modulation QPSK serait utilisable dans de très bonnes conditions de propagation entre stations si possible en visibilité optique et sans réflexions sur des bâtiments ou reliefs.**

- **Sur le Câble** : à l'origine, la modulation dite « **DVB-C** » a été conçue pour assurer la continuité des émissions **DVB-S**, soit un débit de l'ordre de 38 Mbits/s dans des canaux de 8 MHz de large, ce qui devient beaucoup plus délicat à réaliser. Une modulation assez complexe d'une porteuse unique à 64 états (6 bits par symbole), dite **64 QAM**, sera utilisée avec un débit symbole élevé : 6.875 MBauds. On n'utilise pas de VITERBI (ou FEC) car les conditions de transport sur le Câble sont maîtrisées : niveau suffisant à la prise par conception et absence présumée d'échos car il s'agit d'une **transmission guidée d'un signal dans un câble** et non d'hertzien, contrairement au satellite et au terrestre, comme l'on verra plus loin. En théorie, si le réseau est bien conçu d'un bout à l'autre, il n'y a pas de rayonnement mais « du conduit ». Un décodeur sera équipé d'un circuit correcteur d'échos afin de compenser des échos courts liés à des désadaptations dans la connectique ou les éléments passifs ; ce décodeur fonctionnera avec **un C/N élevé de l'ordre de 25 à 30 dB et un niveau de signal à la prise élevé de l'ordre d'une centaine de µVolts** ce qui n'est pas compatible avec nos exigences à part pour des liaisons très locales mais tout le monde n'habite pas dans la Beauce..... Pour peu que l'on puisse « détourner » un décodeur câble de son utilisation d'origine, ce produit est tellement spécifique (notion de numéro de réseau, de tables SI à fournir) pour que le décodeur accepte de fonctionner, que **cette technologie se prête peu au type d'application que nous en attendons**. C'est dommage car la bande de fréquence couverte (120 à 860 MHz) permettrait d'envisager une utilisation sur la bande des 70 cm (430 à 440 MHz) mais un canal de près de 8 MHz est un peu trop large. Une modulation dite 16 QAM, plus robuste au détriment du débit utile, est normalisée mais le canal a toujours la même largeur et il n'existe pas l'équivalent de la modulation SCPC sur le Câble.

- **En Hertzien terrestre** : c'est là où règnent **les modulations multi-porteuses** qui se jouent (ou presque) des échos, des variations du canal radioélectrique, des brouillages dans une certaine mesure...etc. On parle ici de modulation « **COFDM** » (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) dont l'idée de base est de répartir sur un grand nombre de porteuses un débit symbole assez faible par porteuse, et d'utiliser des systèmes correcteurs d'erreurs puissants (un FEC comme sur satellite, un Reed-Solomon), des modulations différentes utilisables suivant les débits attendus (QPSK, 16 QAM, 64 QAM) ainsi qu'un intervalle de garde (sorte de poubelle pendant une partie de la durée du symbole capable d'absorber la partie destructrice d'échos trop longs) paramétrable suivant les applications. Deux types d'applications du COFDM existent :

-le « **T-DAB** » (Digital Audio Broadcasting Terrestre) conçu pour la diffusion d'un multiplex de programmes radio ou éventuellement d'un seul programme vidéo de qualité VHS (MPEG 1 à 1.15 Mbits/s) ou encore pour diffuser des données seules. Le canal est de 1.5 MHz pour un débit global de l'ordre de 1.5 Mbits/s, le nombre de porteuses est de l'ordre de 700 modulées en QPSK. Ce système fut conçu à l'origine pour recevoir la radio en qualité numérique en voiture mais peu de récepteurs ont été commercialisés pour le moment et encore moins de

récepteurs permettant la réception vidéo...Les bandes de fréquences définies pour le T-DAB sont la bande III (VHF) ou la bande L (autour de 1.5 GHz).

- le « **DVB-T** » est la version de diffusion adaptée à l'Hertzien terrestre de la TV numérique de demain (fin 2002 en France : décisions en cours au niveau du gouvernement...); cette diffusion a déjà démarré dans certains pays européens (Grande-Bretagne, Suède, Espagne...etc). La norme de diffusion DVB-T se décline en deux variantes dites 2K (environ 2000 porteuses) et 8K (environ 8000 porteuses) réparties dans un canal de 8 MHz (en fait 7.6 MHz comme sur le Câble). En fonction des différents paramètres de modulation utilisés (FEC, type de modulation et intervalle de garde), un débit entre 5 Mbits/s pour un C/N de 6 dB et 31 Mbits/s pour un C/N de 30 dB serait possible. C'est évidemment l'option la plus durcie qui nous intéresse de façon à lutter contre les aléas d'un canal perturbé en DX. On préférera le mode 2K car les porteuses sont alors espacées de 4kHz (contre 1kHz en mode 8K), ce qui limite les contraintes sur les oscillateurs locaux (bruit de phase), et **la cerise sur le gâteau sera la mobilité !** Ce type de modulation est déjà utilisé pour les reportages genre Tour de France car l'effet DOPPLER est moins sensible en 2K qu'en 8K (déplacement apparent de la fréquence en fonction de la vitesse relative entre l'émetteur et le récepteur). La bande de fréquence utilisée par le DVB-T correspond aux bandes TV VHF (bande III) et UHF (bandes IV et V), mais des convertisseurs de fréquence sont toujours utilisables à l'entrée moyennant certaines précautions sur le sens du spectre transposé. De tels décodeurs existent depuis novembre 1998 en Grande-Bretagne où l'on commence également à y trouver des téléviseurs numériques intégrés. Les amateurs britanniques envisagent sérieusement de monter des balises ATVNum et d'utiliser des décodeurs DVB-T du commerce pour des tests sur des bandes SHF (2.4 GHz par exemple), associés à des convertisseurs de type MMDS modifiés. Une difficulté à signaler : tout décodeur numérique quel qu'il soit demande impérativement la diffusion de **tables SI** (Service Informations) le renseignant sur les caractéristiques de la modulation utilisée, le contenu du multiplex diffusé, les Pid's des différentes composantes (identifiants des paquets de données utilisées pour la vidéo, l'audio et l'horloge), et ceci n'est pas trivial à fabriquer. A défaut, on utilisera des décodeurs dont on peut forcer ces paramètres en réception après avoir convenu des valeurs avec le futur correspondant ; certains décodeurs fonctionnent par scanning (balayage de la bande) mais cette opération est assez fastidieuse.

EN GUISE DE CONCLUSION (PROVISoire ?)

Ces conclusions ne visent pas à donner des solutions mais plutôt à proposer des thèmes de réflexion et d'expérimentations en ATVNum en fonction des bandes de fréquences que l'on souhaiterait utiliser :

- **pour la bande 430 à 440 MHz** (ou ce que l'on peut encore exploiter) : des modulations à bas débit et faible largeur de bande seraient préférables, si possible en modulation multi porteuses (genre DAB). Il conviendrait de suivre de près ce que proposent nos voisins allemands (avis aux Germanophones !) qui semblent avancer sur la base de modulations mono-porteuse dérivées de la téléphonie mobile n'offrant qu'un débit assez faible compatible avec du MPEG1 et donc une qualité trop limitée ? Dans la mesure du possible, il conviendrait de favoriser un codage de source en MPEG2. Dans un avenir proche, l'UMTS permettra de diffuser des débits entre 384 kbits/s et 2 Mbits/s vers des mobiles mais le codage de source ne sera pas en MPEG2 (qui ne sait pas fonctionner correctement à débit faible) mais plutôt du MPEG4 ou un autre système compatible avec Internet. Des essais en modulation DVB-T voire DVB-C seraient possibles ; il existe une variante de DVB-T en largeur de bande de 7 MHz destinée aux canaux VHF au standard B et même en 6 MHz destinée aux pays utilisant

les 525 lignes / 30 images par seconde mais le problème sera de trouver des décodeurs disposant de ces largeurs de bande (filtre à onde de surface adapté), et il n'y aura plus de compatibilité avec les programmes nationaux.

- **pour la bande 1.2 GHz** (ou ce qui va nous en rester sous peu...) **le choix semble plus vaste** : modulation à bande étroite multi-porteuse (T-DAB), plus large (DVB-T ou DVB-S en SCPC) voire **DVB-S large ce qui semblerait le plus accessible actuellement en termes de moyens pour l'amateur**. Certains décodeurs du commerce pratiquent un scanning (assez fastidieux) de la BIS et devraient se contenter d'une signalisation (SI) simplifiée ; parmi eux, certains décodeurs d'origine française ou scandinave fonctionnent en SCPC.

- **pour la bande 2.3/ 2.4 GHz** : sous réserve d'une transposition de fréquence (boîtier dit Arabsat ou autre), convertissant cette bande en BIS, la modulation DVB-S serait utilisable. Si une transposition MMDS était disponible, une modulation DVB-T serait utilisable.

- **pour les bandes 5.7, 10 GHz et au-dessus** : les modulations multi-porteuses semblent inutilisables pour des problèmes de bruit de phase et d'instabilité des oscillateurs locaux. Les modulations satellites DVB-S à bande large ou étroite avec utilisation d'un FEC assurant plus de robustesse au signal (FEC de ½ soit 1 bit utile pour 2 bits diffusés), seraient les plus aisées à mettre en œuvre bien que pas forcément les plus performantes et l'on peut supposer que les premiers essais se feront dans la bande 10 GHz.

On peut espérer voir apparaître sur les marchés des surplus des équipements de codage-multiplexage et de modulation QPSK de première génération ; soyons vigilants auprès des spécialistes de la récupération... Un dernier point important : il faudra oublier la FM chère à nos diffusions analogiques actuelles et le fonctionnement en classe C à saturation. En effet, les modulations numériques complexes nécessitent des chaînes d'amplification **très linéaires** : environ 10 à 20 % de la puissance obtenue au point de compression et l'utilisation de la classe A, au risque de voir apparaître des distorsions importantes. Il faudra intégrer les notions de **TEB** (Taux d'Erreurs Binaire) qui se dégradera en fonction de la qualité de la chaîne d'émission et la présence de signaux parasites de part et d'autres de l'émission élargissant cette dernière (on parle dans le jargon spécifique de « shoulders » ou épaules qui s'élargissent inutilement...et dont le niveau par rapport au signal utile devrait rester autour de - 30 dB minimum en DVB-T. De même les mesures en numérique sont différentes de l'analogique car il faudra raisonner **en densité de puissance** dans une bande passante donnée et non pas en crête de modulation comme en MABLR ou en puissance moyenne en FM.

REVONS UN INSTANT : un Radio-club disposant de compétences spécifiques se lancera-t-il dans la construction d'un répéteur à entrée analogique sur les bandes basses et sortie en numérique après codage MPEG (ou à défaut une mire animée) et modulation (QPSK ?) sur les bandes supérieures à commencer par le 10GHz ? A quand des émissions ATV Num en mobile en s'inspirant des techniques de reportage ?

Le plus complexe résidera dans **l'intégration du système** et en particulier dans la disponibilité des interfaces entre nos équipements de production amateur (IEEE 1394, USB ?) et les standards de l'industrie (entrées / sorties parallèle LVDS ou série ASI) ainsi que dans la génération d'un minimum de signalisation interprétable par le décodeur.

Reproduction même partielle interdite sans autorisation écrite de l'auteur