Niveau : moyen

Modulateur AM huit fréquences : AM8

Partie 1 : présentation du projet

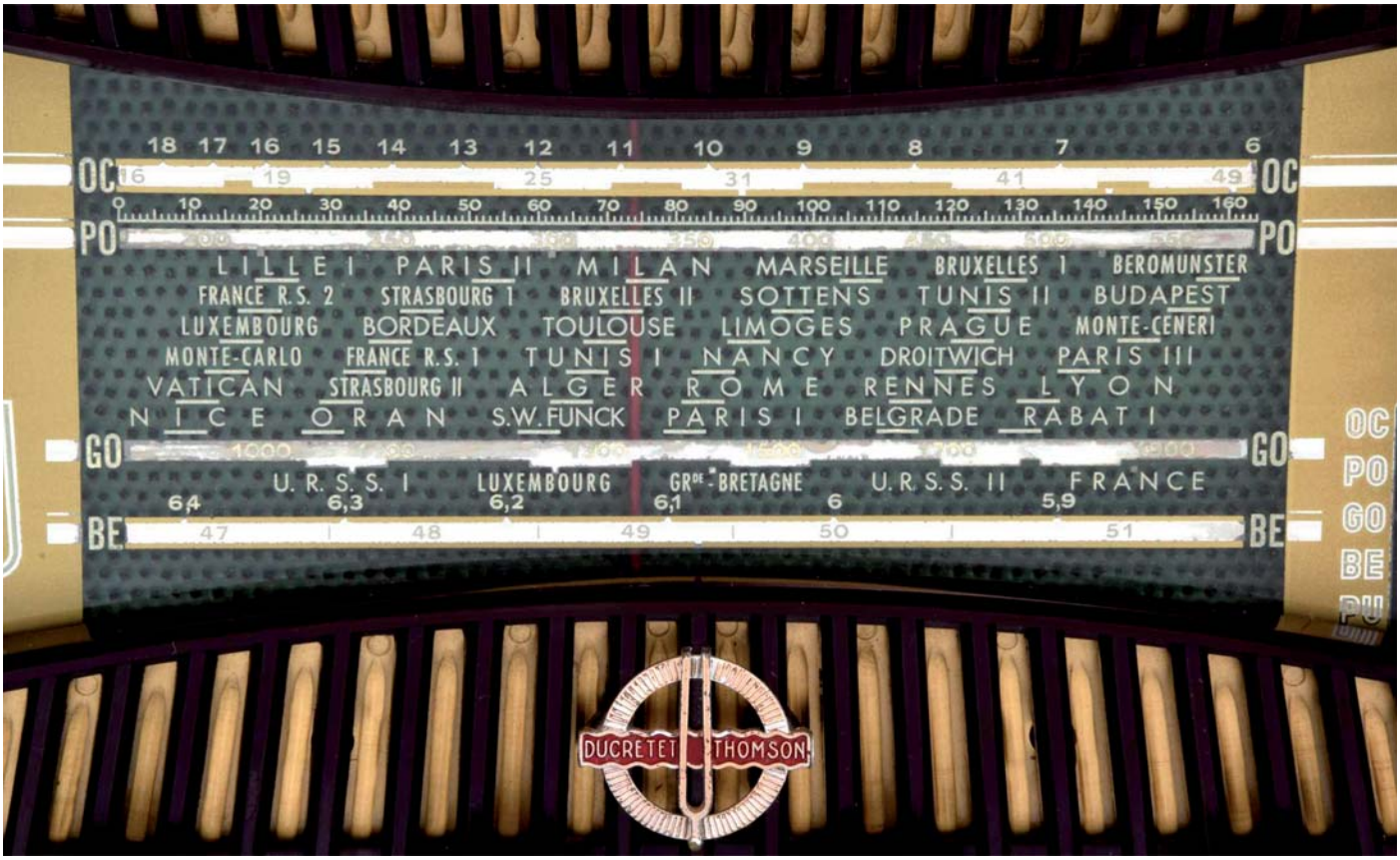


Figure 1 : imaginons que l'aiguille de ce cadran retrouve des modulations en face des grands noms de la radiodiffusion d'hier.

C'était annoncé, nous le savions, mais le traumatisme est tout de même bien réel. Nous n'avons plus rien à écouter sur les Grandes comme sur les Petites Ondes. C'est désolant, c'est rageant et bien davantage encore. Mais c'est ainsi. Inutile de nous apitoyer, personne ne reviendra en arrière à l'heure où le prix du kW/h a été multiplié par un facteur de cinq à dix pour ce genre d'entreprise ! Certes, la FM est de bien meilleure qualité, le DAB+ un petit cran au-dessus de la FM, mais nous sommes (encore) quelques-uns à aimer le bruit de fond des bandes AM, les crachotements si représentatifs d'une bonne sensibilité et témoins de l'étape finale d'une restauration aboutie, de l'alignement aux petits oignons d'un châssis qui nous a donné tant de fil à retordre !

Alors, après un instant d'énervement devant le mutisme du récepteur posé sur le bahut du salon, nous avons réuni quelques esprits un peu dérangés (par cette actualité…) et nous avons décidé de réagir avec l'énergie d'un groupe d'ados à qui on aurait coupé le WiFi. Mais avec la sagesse du retraité en plus, gage d'une action, disons, plus mesurée, plus réfléchie, plus aboutie !

Et le pari fut lancé : imaginer un système qui permette de retrouver nos stations disparues à l'endroit où elles étaient sur les cadrans de nos récepteurs, comme au bon vieux temps !

Ainsi vient de naître le projet au nom de code AM8, que nous allons vous présenter aujourd'hui et au sein des prochaines éditions du magazine.

Une association sans projets, c'est une coquille vide. Radiofil se doit d'imaginer, de fidéliser, de conquérir de nouveaux adhérents et, surtout, de satisfaire la majorité de ses membres, en restant à l'écoute de leurs demandes.

À la suite d'un mini sondage, il y a environ deux années, nous avons lancé le projet « Amplifil MKII » : l'étude et la réalisation d'un amplificateur haute-fidélité en pure classe A. Vous étiez d'accord pour adhérer à ce projet, sous réserve que la construction de cet amplificateur puisse être abordée par le plus grand nombre, technicien ou pas. Le défi a été relevé et l'objectif tenu : plus de 130 adhérents ont réalisé sans encombre ce superbe amplificateur.

Aujourd'hui, vous êtes nombreux à ressentir l'extinction de l'AM comme une petite mort. Voilà une occasion de lancer un nouveau et ambitieux projet : le modulateur AM8.

Avertissement

Avec cette étude, nous allons raisonner tout haut et avec vous. Cela signifie que la réflexion va évoluer au fil des mois. En fonction de la faisabilité, des difficultés, des idées nouvelles et complémentaires qui ne vont pas manquer d'arriver auprès de l'équipe, il se peut que des fonctionnalités s'avèrent suffisamment complexes à développer pour qu'elles soient écartées ou, au contraire, que de nouvelles apparaissent, augmentant ainsi l'attrait du système.

Il faut donc bien garder à l'esprit que notre cahier des charges énoncé, ci-après, constitue un objectif théorique à atteindre, pas (encore) un contrat d'engagement de réussite !

Une fois cet axiome assimilé, rien n'empêche de viser le plus haut possible, afin de ne pas risquer de passer à côté d'une fonction essentielle. Et si nous nous cassons les dents à cause d'une difficulté insurmontable, nous ferons un pas en arrière. Mais à ce jour, nous sommes confiants !

État de l'art

Avant de se lancer tête baissée dans une aventure complexe, il est utile de regarder autour de nous en effectuant un inventaire des matériels existants susceptibles de redonner la voix à nos TSF. Cette liste n'est pas exhaustive, mais mentionne d'abord les principales technologies disponibles et accessibles à l'amateur :

☛ module FM5 : le plus connu des *radiofilistes* : ce circuit permet de recevoir la FM en utilisant le CV d'un poste TSF pour la syntonisation des fréquences. Il rend le poste récepteur autonome mais réclame le montage / câblage d'un circuit au sein du châssis et nécessite un circuit par récepteur. Ce module rencontre un grand succès depuis de nombreuses années auprès des adhérents;

☛ récepteur Bluetooth : il va bientôt rejoindre le catalogue des kits du club. Ce petit module prend sa place dans un poste et se raccorde sur l'entrée PU de ce dernier. Il permet de recevoir via le Bluetooth des fichiers au format mp3 diffusés à partir d'un Smartphone ou d'une tablette, par exemple. D'un emploi très simple, il ne concerne toutefois que la section BF du récepteur, ce qui l'éloigne du concept d'une réception « authentique »,

☛ émetteur PO / GO : de nombreux montages ont été proposés dans nos colonnes, dont le projet CORONA à tubes. Ce type d'équipement permet de diffuser une source sonore sur une fréquence à choisir sur la gamme, simultanément vers plusieurs récepteurs et ne réclame aucune modification ou ajout de matériel dans les châssis des TSF.

L'idée

Si chacune des technologies énoncées, ci-avant, autorise nos récepteurs à reprendre du service sonore, nous ne retrouvons pas exactement le fonctionnement originel de la radiodiffusion telle que nous l'avons connue. Et notre projet vise justement à nous conformer au paysage radio des décennies passées.

Pour ce faire, il nous faut, en gros, imaginer un système qui aurait les avantages cumulés des trois technologies évoquées, plus quelques fonctionnalités supplémentaires...

Le mieux est de lister les « besoins », sans délirer non plus, mais tout de même sans trop se retenir. Ensuite, nous examinerons ce que les techniques actuelles peuvent nous apporter pour résoudre les problématiques posées :

☛ diffuser simultanément plusieurs stations ; huit fréquences à paramétrer n'importe où sur les bandes GO et PO semble un chiffre idéal;

☛ sur chacune des fréquences, assigner la source sonore qui est attribuée à cette fréquence. Exemple, si la fréquence n°1 est calée sur l'emplacement du cadran noté « Luxembourg », le son sera celui de RTL avec le programme actuel en direct,

☛ attribuer possiblement d'autres sources sonores à la place des programmes des stations : soit à partir de fichiers mp3, soit à partir de sources sonores analogiques à raccorder sur des entrées externes,

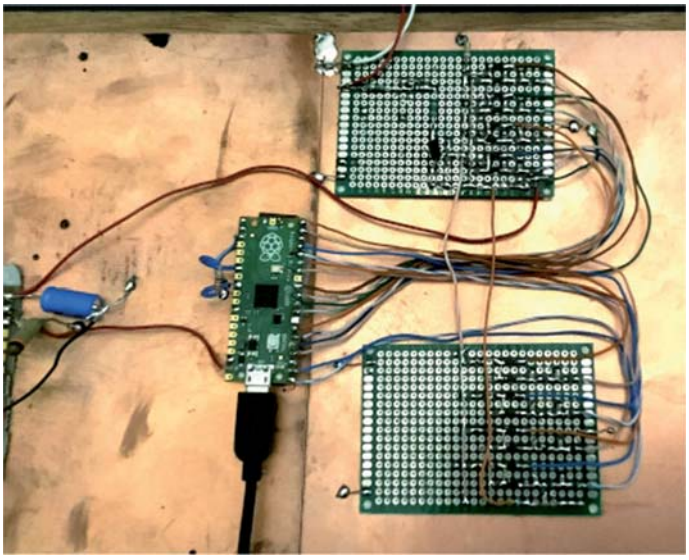
☛ considérer le système comme non intrusif : le poste récepteur n'est pas modifié et aucun module n'y est ajouté,

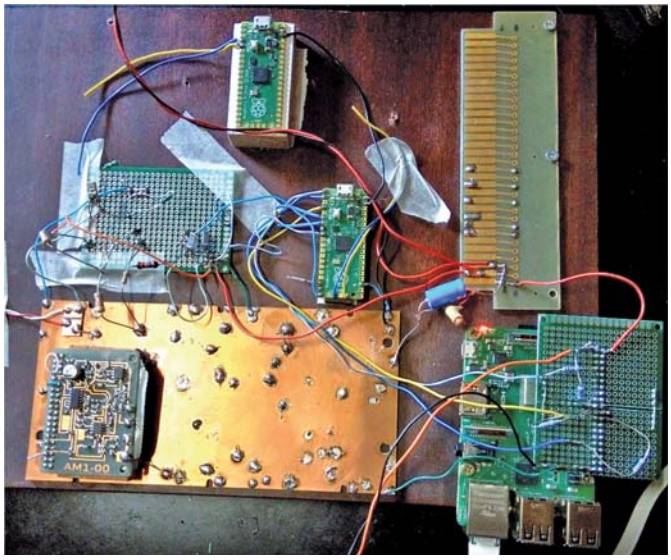
☛ avec un seul système, diffuser ces huit programmes vers une quantité non limitée de récepteurs, pourvu qu'ils soient tous accessibles au sein d'un périmètre restreint (cas d'une collection, par exemple),

☛ respecter les consignes et les règles légales en termes de rayonnement radiofréquence,

☛ bénéficier d'une interface utilisateur extrêmement simple et intuitive garantissant un paramétrage rapide et fiable,

☛ proposer des préréglages par défaut (exemple, les quatre ex-stations périphériques sur les GO, déjà paramétrées sur les bonnes fréquences et avec leurs programmes respectifs actuels,





Figures 2 et 3 : les premières maquettes d'évaluation du principe ont démontré la faisabilité du projet.

☛ proposer un préréglage de type « Atelier » : une fréquence sonore sinusoïdale est générée et distribuée simultanément sur huit fréquences réparties de manière égale sur chacune des deux bandes GO et PO, dont les extrémités de chaque gamme : idéal pour régler les oscillateurs locaux et les étages HF, sans avoir à manipuler un générateur. Voilà pour l'essentiel.

L'équipe

Projet ambitieux, non ? Certes, mais lorsque la passion et la volonté se marient avec la compétence et l'expérience, les hommes se surpassent !

Actuellement, quatre personnes forment l'équipe AM8.

Eduard Hontelé : c'est notre professeur Tournesol, notre Géo Trouvetou, notre Einstein qui ne tire pas la langue… l'ingénieur, par excellence. C'est aussi le concepteur du module FM5. Ses nombreuses qualités de réflexion et d'imagination sont complétées par un corollaire rare : le désintéressement. Chacun connaît la rareté de cet attribut, notamment lorsque celui qui en dispose est aussi un inventeur !

Bref, Eduard est le génie de l'affaire qui ne souhaite qu'une chose : faire plaisir aux *radiofilistes*…

Il a, en charge, le développement logiciel de la technologie de synthèse embarquée et de l'organisation matérielle du projet.

Claude Terrier : notre nouveau webmestre de Radiofil a, en charge, l'étude et le développement du logiciel de l'interface homme machine (IHM) du système. Il devra identifier les bonnes commandes, le bon écran, les bons boutons, pour que tout amateur puisse faire fonctionner le modulateur AM8, sans connaissance technique particulière.

Jean-Michel Bourque : l'auteur du Grand livre de la TSF, par ailleurs, grand spécialiste de la qualification de services, endosse le rôle de candide de l'affaire. C'est lui qui validera l'intérêt de telle ou telle fonctionnalité, décidera si les réglages et paramètres d'exploitation mis à disposition sont simples et sans ambiguïté, si les commandes sont intuitives et agréables. Il sera le garant de l'exigence de l'utilisateur.

Daniel Werbrouck : spécialiste de l'ingénierie et de l'industrialisation, il est le coordinateur du projet. Il devra arbitrer, si nécessaire, et proposer des solutions adaptées au budget et aux possibilités de l'association et de ses adhérents. Il est aussi le responsable des mesures et tests de qualification des prototypes, de la documentation technique de l'étude et de la rédaction de la notice utilisateur, ainsi que des articles descriptifs destinés à *Radiofil magazine*.

Le principe technique

Sans entrer dans le détail, ce premier article étant dédié à la présentation générale du projet, quelques mots sur le principe théorique et la technologie mise en œuvre.

On peut comparer le projet AM8 à huit émetteurs AM indépendants dont chaque fréquence est ajustable entre 150 et 1 605 kHz et dont chaque modulation est issue des programmes actuels des stations que ces émetteurs diffusent. On imagine qu'un tel équipement réalisé strictement avec une technologie analogique serait une usine à gaz… En revanche, avec une approche quasi 100 % logicielle et la puissance de calcul des outils et composants numériques actuels, il devient possible de synthétiser les fonctionnalités de modulation et d'émission, puis de mixer le tout pour n'obtenir au final qu'un seul signal HF analogique compatible avec nos TSF, supportant les huit porteuses modulées.

Génération des porteuses modulées

La synthèse digitale des fréquences d'émission repose sur le principe de la SDR (software-defined radio = radio définie par logiciel), c'est-à-dire faisant appel exclusivement à du logiciel pour réaliser toutes les fonctionnalités

du système. Une fois développé, il faut encapsuler ce logiciel dans une série de composants digitaux capables de l'exécuter. Plusieurs solutions sont à l'étude, mais la pénurie actuelle de processeurs et surtout de circuits de type FPGA (Field-Programmable Gate Array), sorte de circuit comportant des milliards (!) de transistors assemblés sous forme de fonctions logiques basiques programmables suivant l'usage souhaité, oblige le concepteur à imaginer des solutions alternatives plus pérennes. Les nano-ordinateurs (type Raspberry Pi) constituent une piste en cours de test, mais leur approvisionnement est aussi très aléatoire. Identifier la bonne solution matérielle cristallise l'une des difficultés majeures de ce projet. Mais cette préoccupation est conjoncturelle, même si la pénurie de ce type de composant est annoncée comme durable par les industriels. Une piste hybride, en cours de test, consiste à dédier les calculs basiques à des circuits plus simples et disponibles et l'organisation logicielle générale ainsi que l'IHM à un ordinateur PC standard ne nécessitant que peu de performances. Afin de ne pas bloquer les développements de cette étude, cette formule est actuellement privilégiée.

Les porteuses générées sont, ensuite, mixées sous la forme d'un spectre radiofréquence. Chaque récepteur récupère le champ électromagnétique véhiculé via une paire de fils torsadés, au travers d'un couplage souple agencé par une perle ferrite, entre les bornes « Antenne » et « Terre » du poste TSF.

Modulation des porteuses

Reste à identifier les sources sonores pour moduler ces huit porteuses. Le projet prévoit des entrées analogiques, au niveau ligne, susceptibles de recevoir la sortie audio d'un tuner FM, d'un magnétophone ou de tout autre équipement analogique, à destination des amateurs souhaitant créer leurs propres programmes. Il est aussi imaginé la modulation des porteuses via des fichiers sonores au format mp3, très répandu dans le monde de la musique digitale. Mais, le plus astucieux, consiste à moduler chaque fréquence avec le programme qui lui était attribué avant l'arrêt des émetteurs GO et PO.

À ce jour, absolument toutes ces stations sont diffusées en *streaming* via l'internet. Il suffit de saisir les bonnes adresses (URL) et d'aiguiller les flux vers les huit modulateurs. Tout ceci, en utilisant la connexion internet WiFi de la maison et sans manipulation informatique particulière, car c'est le défi de l'IHM que d'automatiser toutes ces séquences.

Il devient, alors, possible de retrouver exactement le paysage de la radiodiffusion d'antan sur nos cadrans TSF. Et chacun, en fonction de sa région, peut programmer les fréquences des ex-émetteurs régionaux en PO ou des émetteurs étrangers, puisque la quasi-totalité des programmes de la radio mondiale sont accessibles via l'internet.

Exploitation

Le jargon informatique et la programmation constituent, pour la plupart des *radiofilistes*, du charabia indécodable, donc un frein notable (quelquefois une aversion…) pour tout projet nécessitant une approche digitale de l'exploitation. Ce constat est bien assimilé par l'équipe. Le pari est de proposer une méthode à la portée de tous, afin de mettre en œuvre le modulateur AM8 en prenant comme base les outils déjà connus de la majorité. Par exemple : démarrer et arrêter un PC, ouvrir un navigateur internet, appuyer sur des boutons virtuels avec le pointeur de la souris au travers d'écrans simples, clairs, sobres et explicites. En résumé, considérer qu'il s'agit d'un système dédié à la TSF et non d'une application informatique pour *geek !*

Toute l'équipe est très attentive au respect de cette approche.

Déroulement du projet

Notre association n'est pas soumise à un objectif de résultat en termes de caractéristiques ou de planning. Pour autant, aboutir et maintenir la dynamique d'un projet, c'est aussi fixer quelques règles en matière de performances minima et de délais.

Les prochaines éditions de *Radiofil magazine* témoigneront de l'avancement du projet, en

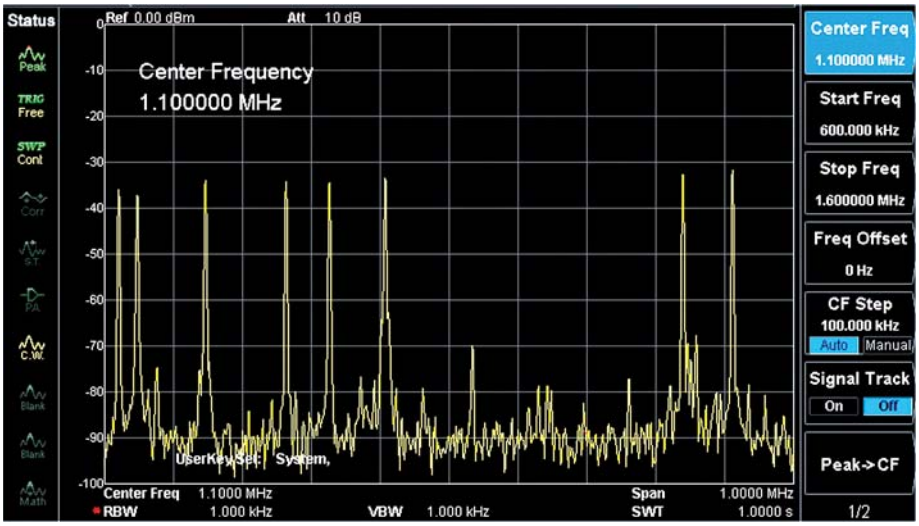


Figure 4 : premiers résultats : le cliché de cet analyseur montre la présence des huit porteuses obtenues avec la maquette actuelle. Les niveaux sont quasi égaux et la pureté spectrale est suffisante pour l'objectif d'exploitation envisagé.

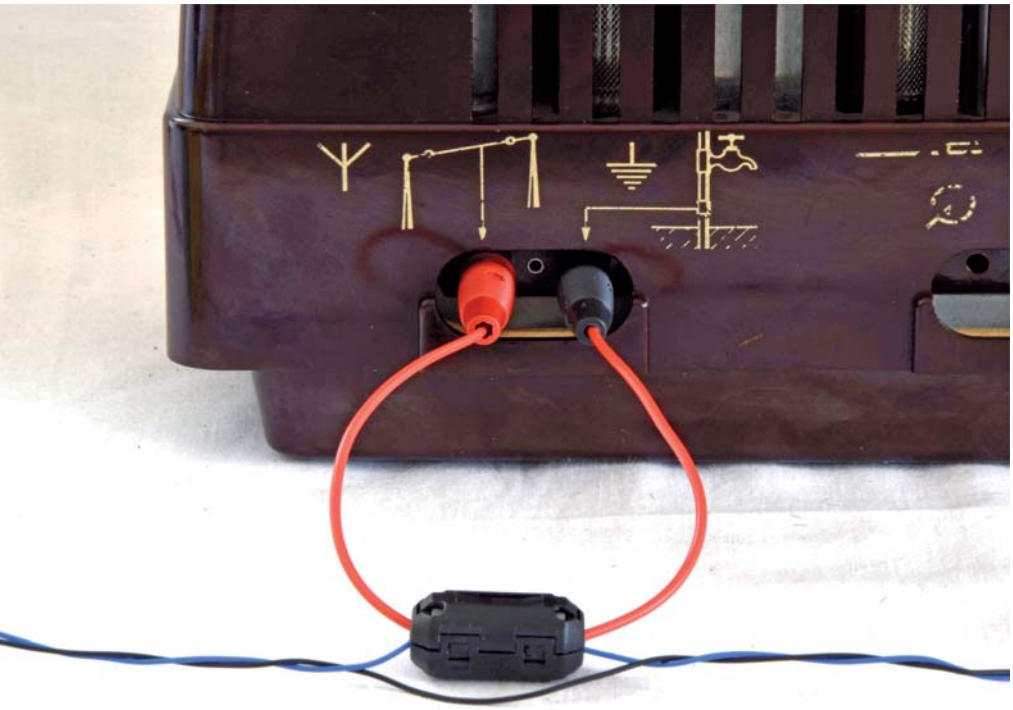


Figure 5 : le couplage est très simple. Un fil torsadé (bleu et noir) véhicule les signaux HF modulés, à basse impédance. Peu importe la longueur de ce câble, au niveau d'une salle. Une boucle (constituée du fil rouge) est raccordée entre la borne « Antenne » et la borne « Terre » du récepteur. La perle ferrite (bloc noir) est clipsée entre un des deux conducteurs de la torsade et le fil rouge. Le couplage est ainsi réalisé, sans même une soudure !

expliquant en détail les principes techniques et technologiques mis en œuvre. Ce sera, pour nombre d'entre nous, le moyen de découvrir et de comprendre la radio logicielle (SDR).

Puis, nous présenterons les différentes maquettes et autres prototypes, jusqu'à la réalisation d'un système de série dont nous détaillerons les fonctionnalités et les performances réellement mesurées sur un panel de postes TSF de différentes époques.

Le premier volet concret sera de présenter une maquette fonctionnelle lors de l'assemblée générale de Radiofil le 1er avril prochain à Montélimar. Avec une démonstration de diffusion à l'appui. Sans doute, à cette étape, s'agira-t-il d'un écheveau peu présentable et d'un outil de programmation non abouti, mais il démontrera que le pari technique est gagné.

Si nous réussissons à maintenir le calendrier prévisionnel, votre magazine vous présentera le projet comme suit :

Édition n°115 : le principe de la radio SDR

Édition n°116 : la technologie et les fonctionnalités exactes du système imaginé

Édition n°117 : les mesures et les tests du prototype d'identification de la série

Édition n°118 : les détails de l'application logicielle d'exploitation du modulateur AM8 (IHM)

Édition n°119 : le conditionnement, l'installation, le paramétrage et les conseils de mise en service.

Quel équipement pour les radiofilistes ?

Ce projet, tout comme les précédents, est financé par Radiofil et réserve donc le fruit de ses recherches aux seuls membres de l'association.

Il n'est pas possible, aujourd'hui, de détailler l'offre qui sera proposée aux adhérents. Elle se déclinera, peut-être, en un module principal et une option matérielle pour l'équipement informatique.

Ce qui est certain : cette offre concernera un ensemble câblé, réglé et prêt à fonctionner, avec les accessoires nécessaires à son exploitation (câbles et ferrites de couplage, notice d'utilisation détaillée).

Et le prix… ?

À ce stade, nous pouvons simplement émettre des hypothèses et nous fixer des limites. Le prix des composants est trop fluctuant pour décider d'une politique tarifaire contractuelle !

Hors le PC (si cette option est retenue), le système avec ses accessoires devra se situer à un prix inférieur à 100 €. Peut-être nettement moindre si le marché des composants revient à un niveau « normal ! ». Le prix constitue évidemment un critère essentiel pour le succès de ce projet. C'est pourquoi, nous privilégierons les solutions techniques en adéquation avec un budget serré, afin de rendre accessible cette réalisation à la plupart des *radiofilistes*.

Et maintenant, au travail !

Prochain rendez-vous les 1er et 2 avril pour une démonstration de l'AM8 à Montélimar, lors de l'assemblée générale de l'association, puis, dans l'édition n°115 de votre magazine, à paraître début avril, pour comprendre comment fonctionne une radio 100 % logicielle, au service de la TSF. En revanche, dès à présent, vous pouvez discuter de ce projet en l'alimentant de vos avis et suggestions, sur le forum rétrotechnique. Nous avons créé une catégorie spécifique nommée : **Modulateur AM8**. Pour y accéder rapidement, après ouverture de la page du forum **https://forum.retrotechnique.org/**, dérouler le menu situé dans le petit cadre en haut à gauche, nommé « Toutes les catégories » et sélectionner dans la liste : Modulateur AM8. N'hésitez pas à réagir !

POUR L'ÉQUIPE AM8,
DANIEL WERBROUCK – RFL8

Niveau : moyen

NDLR

"En s'appuyant sur les importantes ressources existant parmi les adhérents de Radiofil, votre association travaille à promouvoir des solutions destinées à maintenir l'attractivité de nos parcs de collection et à fournir des produits performants dans le cadre de sa vocation. *Radiofil magazine* s'en fait souvent l'écho avec les articles que vous lui envoyez. Parfois, ce sont seulement les dernières technologies numériques qui permettent de relever un défi de quelques idées géniales. Ce fut le cas, notamment, pour le module FM5, pour l'amplificateur HI-FI Amplifil MKII et, dans cet article, pour le module AM8.

Certains, initiés aux techniques de conception actuelles, y trouveront leur compte. D'autres, les plus nombreux, étrangers aux outils et concepts mis en œuvre, n'assimileront pas. Néanmoins au travers d'une lecture rapide, en diagonale ou, au contraire, attentive et formatrice, tout le monde, initié ou non, pourra sans doute donc trouver avantage à la lecture du présent article.

La complexité est parfois le prix à payer, par l'équipe de projet, afin d'offrir en fin de compte un outil, très utile et performant, pour nos parcs de collection. Cet outil sera aussi facile à mettre en œuvre par tout un chacun. Vous connaîtrez la dose de science qu'il a nécessité et l'oublierez devant la performance et la simplicité d'utilisation qu'elle a permis d'engendrer."

Modulateur AM huit fréquences : AM8

Partie 2 : SDR : la radio définie par logiciel (software-defined radio)

Dans la précédente édition de Radiofil magazine (n°114 de janvier – février 2023), nous vous présentions les grandes lignes du nouveau projet de l'association : un modulateur AM générant huit fréquences simultanées, fonctionnant en PO et en GO, modulées à partir des programmes des stations qui ont cessé quasiment toutes d'émettre en AM.

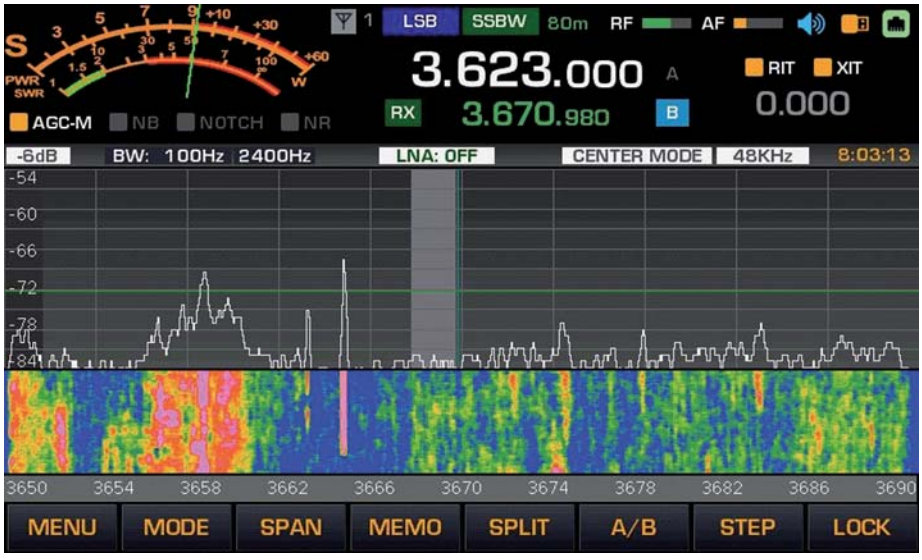


Figure 1 : Interface graphique d'un récepteur SDR (Sylphase R1-SDR).

Cette étude est le fruit de plusieurs années d'essais réalisés par Eduard Hontelé, avec différentes technologies et différents composants, mais aussi avec une nouvelle contrainte inattendue : la pénurie des composants. Il aurait malgré tout été dommage d'abandonner ce développement ; c'est pourquoi une équipe s'est formée autour du travail déjà effectué par Eduard afin de consolider le système, lui donner un environnement technique accessible à tous et finalement proposer un module prêt à l'emploi à l'usage de l'ensemble des amateurs de TSF et de récepteurs anciens.

Ce second volet rédactionnel est consacré au principe technique adopté dans le projet. En effet, il nous paraît important (voire essentiel), intéressant et instructif de comprendre comment fonctionne ce qui participe au bonheur de nos loisirs. La SDR (Radio 100 % logicielle) vous est contée ici par le concepteur du projet original et vous permet d'aborder avec simplicité les grands principes mis en œuvre dans le modulateur AM8 afin d'aboutir à la génération de signaux radiofréquences que nos belles TSF vont comprendre et sans doute apprécier, puisque les puissants émetteurs de la radiodiffusion les ont lâchement abandonnées !

De nos jours, la langue de l'informatique est l'anglais. On a divisé le domaine de l'informatique en deux secteurs qui se nomment respectivement *hardware* et *software*. « hard » signifie « dur », en français. En Angleterre, une quincaillerie se nomme *hardware store*. Dans ce type de magasin, on vend des objets physiques souvent métalliques. Dans le monde de l'informatique, le *hardware* concerne le monde des appareils électroniques. Un expert du *hardware* gagne sa vie en travaillant les circuits électroniques constituant un ordinateur, un clavier, une imprimante... En bref, le *hardware* peut se résumer aux choses que l'on peut « toucher ».

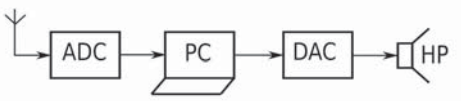


Figure 2 : schéma de principe d'un récepteur SDR.

Mais un ordinateur ne sert à rien s'il n'y a pas de *software*. Pour faire fonctionner utilement un ordinateur, on a besoin d'un logiciel. Un logiciel est une chose qu'on ne peut pas toucher. Dans les années soixante-dix, l'outil d'un informaticien, expert en *software*, se limitait à un crayon et une grande feuille de papier à carreaux. Il s'agissait d'écrire des instructions. Dès que le logiciel était prêt (le total de toutes ces instructions), un opérateur se mettait devant une machine à poinçonner des cartes. Le résultat de ce travail se traduisait par une pile de cartes. On peut considérer cette série de cartes comme une liste de nombres. Ces nombres consistent en deux nombres : 1 et 0.

Enfin, l'opérateur va installer cette série de nombres dans la mémoire de l'ordinateur grâce à un lecteur de cartes sachant repérer et différencier les « 0 » des « 1 ». Ainsi, ces nombres enregistrés dans la mémoire de l'ordinateur forment-ils le *software*, une chose qu'on ne peut pas toucher.

SDR est l'abréviation de « Software Defined Radio », la radio logicielle. Le plus simple, pour comprendre la SDR, est de commencer par expliquer le principe d'un récepteur utilisant cette technologie. Le schéma basique d'un récepteur SDR est représenté en figure 2.

L'antenne est reliée à un convertisseur analogique/numérique (CAN, ADC en anglais). À haute vitesse, le convertisseur A/N transforme le signal capté par l'antenne en une série de nombres qui représentent la valeur de la tension issue de l'antenne. Il faut savoir que la vitesse minimale pour transformer une tension analogique en un nombre digital doit être au minimum le double de la fréquence qu'on envisage de numériser, donc de recevoir. Il est alors nécessaire d'ajouter un filtre d'entrée qui interdit aux fréquences dépassant celles qui sont les plus hautes du spectre à recevoir, d'entrer dans le convertisseur.

Un filtre, un amplificateur et un démodulateur sont les circuits nécessaires pour écouter une émission radiodiffusée. En logiciel, on peut construire des filtres d'une qualité totalement impossible à obtenir avec des composants d'un circuit analogique. Quant à l'amplification, elle se traduit mathématiquement par une multiplication, instruction basique pour un ordinateur. Reste la démodulation : il est assez simple de modéliser la formulation d'un démodulateur sous forme digitale. Donc, aucune difficulté majeure n'empêche qui que ce soit de construire un récepteur SDR.

Souvent, un récepteur SDR s'organise autour d'un modèle « panoramique ». Cela signifie qu'au-delà de la fréquence choisie, on peut voir le spectre de part et d'autre de celle-ci. Sans acheter ni construire aucun matériel, il est possible pour tout le monde de faire connaissance avec la SDR en se raccordant, via son navigateur web, à un site qui offre la possibilité de manipuler un récepteur SDR en ligne et en direct.

L'un des sites les plus performants et des plus connus se trouve ici :

http://websdr.ewi.utwente.nl:8901/

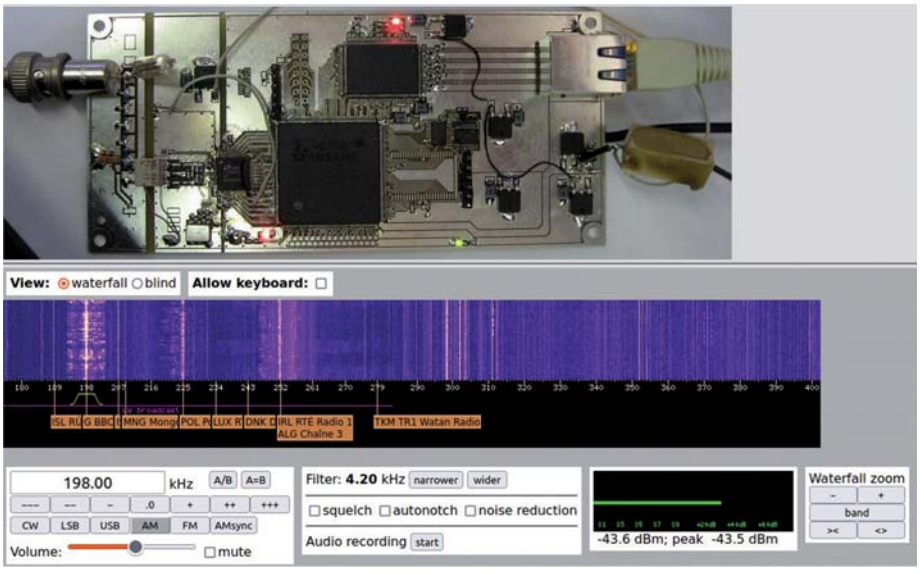


Figure 3 : écran visible de la WebSDR de l'université de Twente aux Pays-Bas.

Ce récepteur webSDR est installé à l'université de Twente, aux Pays-Bas.

Le concepteur de cette radio 100 % logicielle, monsieur Pieter-Tjerk de Boer (adhérent Radiofil n°7004) nous a aimablement autorisés à reproduire quelques extraits d'écrans visibles sur son site.

En haut de la figure 3, la platine regroupe les différents circuits de transformation du signal d'antenne en signaux numériques. Le circuit intégré de grande taille, au centre de la platine, contient les éléments nécessaires pour un premier traitement des données qui doit s'effectuer à une vitesse élevée, trop élevée pour que cette mission soit confiée à un ordinateur standard. La platine matérielle est reliée à l'ordinateur par Ethernet : cette connexion est visible en haut et à droite du module.

Conclusion : un récepteur SDR haut de gamme n'est pas encombrant. Une seule platine suffit. La majeure partie des fonctionnalités du récepteur est constituée de logiciels qui résident dans l'ordinateur.

La partie inférieure de la figure 3 : la vue « Waterfall » propose la visualisation de la bande des fréquences (ici entre 100 et 400 kHz) avec une progression et une visualisation au fil de l'eau. D'un seul coup d'œil, on voit ce qui se passe sur l'ensemble de cette bande de fréquence.

Pour construire son propre récepteur, nous pouvons mixer les techniques analogiques et numériques afin de trouver la solution qui nous convient le mieux. Pourquoi ne pas mélanger la fréquence captée par l'antenne avec celle d'un oscillateur local pour finalement arriver à une fréquence intermédiaire de 12 kHz ?

Ensuite, on raccorde le signal de cette fréquence intermédiaire à l'entrée microphone d'une carte audio d'un ordinateur classique. L'ordinateur est en mesure de filtrer ce signal. On peut réaliser une bande passante de 8 à 16 kHz de forme presque rectangulaire. Il y a pas mal de schémas et de logiciels disponibles sur la toile si l'on veut entreprendre une telle réalisation.

Le digital permet aussi de construire des appareils de mesure d'une qualité supérieure. L'édition n°97 de *Radiofil magazine* présente la réalisation d'un générateur HF/BF de précision, de technologie numérique.

La chose à retenir : la SDR nous permet de saisir le meilleur des deux domaines, analogique et numérique. La SDR est certes très différente des techniques usitées dans la radio d'antan, mais ce n'est pas plus difficile !

On peut construire un récepteur SDR pour une vingtaine d'euros, hors le prix de l'ordinateur.

La plupart des amateurs ont abordé la SDR du point de vue de la réception. Mais construire un émetteur en utilisant la technologie SDR est aussi chose possible.

C'est en parcourant le projet « Machine à regarnir les P.O. », dans le CD-Rom édité et proposé par la boutique Radiofil, qu'une idée m'est passée par la tête : pourquoi ne pas développer un tel système avec la technique SDR ? Sachant que, par ailleurs, toutes les stations qui ont cessé leurs émissions en AM sont encore présentes sur internet.

Le défi consiste à les capter sur internet, puis à les retransmettre dans la bande des PO, voire des GO.

Cela m'a pris quelques années pour rechercher ou inventer les briques permettant construire cet édifice. À plusieurs reprises, j'ai eu l'occasion de montrer divers degrés d'avancement de mon projet sur le stand de Radiofil lors, notamment, de la bourse d'Achicourt.

Pour finir, la maquette préliminaire a permis d'aboutir au module visible en figure 4.

La figure 5 montre le schéma de principe adopté dans ce module.

Après les premiers essais, j'ai pensé que cela pourrait intéresser les *radiofilistes*. Daniel Werbrouck a vérifié et qualifié ce modulateur dans son laboratoire et il a rédigé quelques remarques. Ces remarques ont été résolues. L'essentiel du schéma se divise en deux parties :

Figure 4 : le modulateur, dans sa version avec un circuit FPGA.

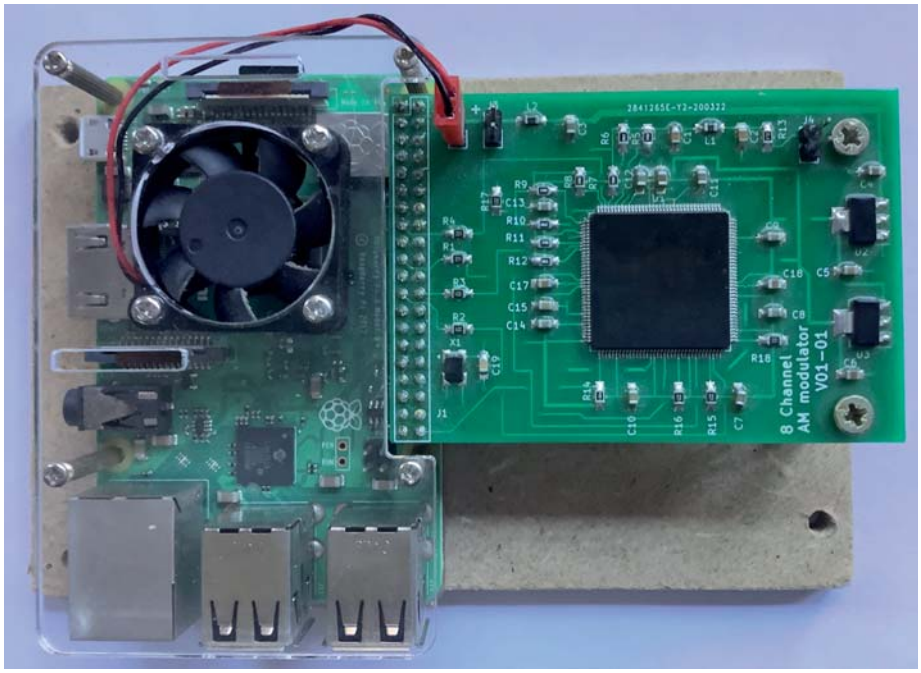


Figure 5 : schéma de principe du modulateur, dans sa version avec un circuit FPGA.

A/ Le mini-ordinateur Raspberry qui fonctionne avec le système d'exploitation Linux. Linux n'est pas un système qui travaille en temps réel. Son rôle se limite à capter le flux *streaming* des huit stations sur l'internet et à envoyer le résultat vers le circuit FPGA.

Il faut savoir que le signal audio circule sur l'internet sous la forme de « paquets » informatiques. Chaque paquet contient l'adresse du destinataire. Ici, il s'agit de l'adresse internet de notre Raspberry Pi. L'internet ressemble à une toile d'araignée ; il existe plusieurs routes possibles entre la source de l'information et le destinataire. Le chemin suivi par les paquets n'est pas toujours le même. Il se peut qu'un paquet expédié plus tard arrive à destination avant un autre expédié plus tôt. C'est le travail du nano-ordinateur Raspberry que de ranger les pièces du signal audio dans le bon ordre. Dans le Raspberry, il y a une grosse mémoire tampon pour organiser cela.

B/ Le circuit FPGA. Dans ce dernier se trouve une autre mémoire tampon de plus petite taille. Elle est utilisée pour extraire les échantillons de la modulation à la fréquence de leur enregistrement. Dans notre cas, c'est 22 050 Hz.

Ensuite, le signal audio de chaque station est modulé en AM sur une porteuse sinusoïdale générée dans le FPGA. Le FPGA est constitué d'une palette de millions de transistors. Ces transistors s'organisent en mémoire, en portes logiques, en bascules (flip-flop). Pour les utiliser, il faut paramétrer le FPGA en organisant des connexions internes fixant le rôle souhaité de chaque transistor ou groupe de transistors.

Cette mission s'effectue par une liste d'instructions téléchargées au moment du démarrage. La version précédente du modulateur était dotée d'un oscillateur de fréquence 12 MHz. Un circuit PLL (boucle à verrouillage de phase) interne était programmé pour la génération d'une horloge à la fréquence de 350 MHz. Cette fréquence de 350 MHz génère la durée des impulsions qui arrivent à chaque port de sortie du circuit. Le FPGA est un circuit digital, il est donc impossible de sortir directement des signaux de forme analogique. Mais il existe une solution, avec le principe de la modulation sigma-delta. Ce type de modulation, une fois transitée par un filtre passe-bas, permet d'obtenir un signal analogique proportionnel à la fréquence des impulsions. Il ne reste plus qu'à réaliser une addition analogique des huit sorties et à faire transiter ce signal par un filtre passe-bas qui va s'occuper d'atténuer fortement les fréquences situées au-delà de 1 600 kHz, et nous obtenons le signal radiofréquence attendu.

Voilà, en quelques mots le principe d'un modulateur SDR qui fonctionne de manière impeccable. Mais, hélas, avec la pénurie actuelle des composants, il est devenu aujourd'hui impossible de le fabriquer !

Aucun délai raisonnable n'étant annoncé pour identifier un circuit FPGA compatible, il fallut chercher une solution différente basée sur des pièces plus populaires et, en principe, plus faciles à trouver, car elles sont souvent doublées ou triplées par des références équivalentes chez divers constructeurs.

Dans un premier temps, j'ai remplacé la liaison entre le Raspberry Pi et la platine par un câble USB. Le standard USB est largement répandu. Même un ordinateur de récupération, qui apparaît peu performant de nos jours peut faire le travail de capter les flux audio sur la toile.

Nous sommes actuellement sur l'examen de diverses offres d'ordinateurs portables (ou de bureau), de seconde main, à des prix très attractifs et dont les performances seraient parfaitement suffisantes pour le type de mission à accomplir dans le cadre du modulateur AM8.

Mais, remplacer le circuit FPGA n'est pas si simple… Nous examinons le circuit microcontrôleur Raspberry Pico, qui semble offrir une ouverture intéressante pour notre projet SDR.

À cet effet, nous avons dessiné une nouvelle platine prototype visible en figure 6.

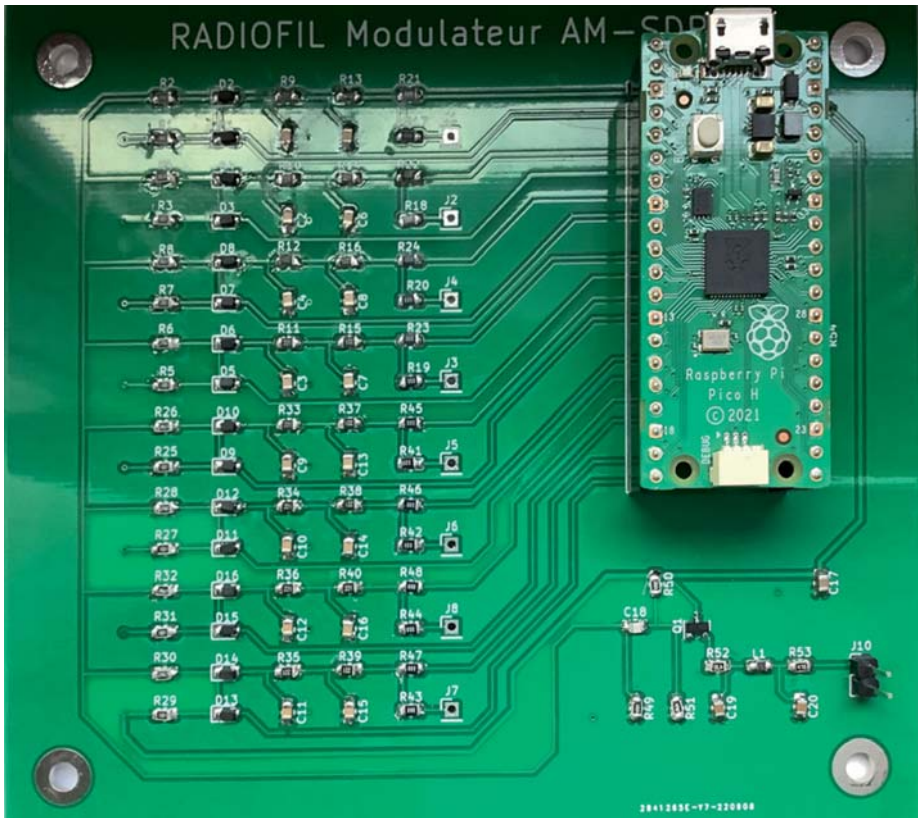


Figure 6 : le prototype de la nouvelle version du modulateur. La petite platine disposée sur un support est un Raspberry Pico.

Le processeur RP2040 se trouve placé au centre de cette petite platine montée sur support. Le composant métallique, à gauche du logo en forme de framboise, est l'oscillateur 12 MHz. À l'intérieur du RP2040, la fréquence de 12 MHz a été multipliée, via un PLL, afin d'obtenir une horloge cadencée à la fréquence de 125 MHz. Dans le monde des microprocesseurs, 125 MHz est une fréquence très élevée. Elle nous offre la vitesse nécessaire pour que le logiciel assure la génération des fréquences des porteuses. Pour ce faire, nous avons défini huit « automates finis » de type FSM (Finite State Machines). Chaque FSM effectue la division de fréquence par un nombre avec virgule. Le résultat de chaque division de la fréquence d'horloge donne une porteuse.

Le RP2040 est aussi doté d'un processeur double cœur. Cette puce RP2040 se vend habituellement environ 1 euro. J'ai payé 7 euros pour le Pico, transport compris, livré à domicile. Ce n'est vraiment pas cher !

Le Pico est relié à l'ordinateur par un câble USB. Cette liaison assure l'alimentation de la platine en 5 volts et véhicule le flux des huit programmes radio que l'ordinateur a réussi à identifier sur la toile.

Le logiciel du PC effectue une réorganisation des flux audio afin de les expédier vers la liaison USB, suivant un protocole compréhensible par le Pico. Pour chacune des stations, ce logiciel fabrique des paquets de 64 octets. Les premiers octets de chaque paquet constituent l'entête du message.

Chaque entête mobilise 6 octets :

☛ Les quatre premiers octets constituent un numéro unique et indiquent qu'il s'agit du début du nouveau message.

☛ Le cinquième octet renseigne le numéro de la station (1... 8) ou bien une commande pour piloter le Pico.

☛ Le sixième et dernier octet de l'entête contient le nombre de stations à traiter.

L'entête est ensuite suivi d'une série de 58 octets. Ces derniers contiennent les échantillons de l'amplitude du signal sonore. Chaque échantillon mobilise un seul octet. Les huit convertisseurs Numérique / Analogique situés à l'intérieur du Pico ne sont pas en mesure de traiter une précision plus élevée.

Le convertisseur N/A du pico transforme chaque canal numérique choisi, en un signal analogique dont la bande passante est compatible avec celle de la norme de modulation en amplitude de la bande radio. Les huit canaux analogiques formatés sont ensuite modulés, chacun sur une des huit porteuses mises à disposition.

Un mélangeur à diodes se charge de moduler la porteuse. Il s'agit d'une modulation en amplitude d'une onde carrée.

Il ne reste ensuite qu'à effecteur l'addition analogique des huit signaux PAM et à les amplifier pour piloter la boucle qui va permettre le couplage avec les récepteurs TSF.

Notons qu'il s'agit d'un schéma rudimentaire. Le modulateur sur la platine assure l'addition des huit signaux. Le courant continu qui traverse le câble de distribution HF est bloqué par le transformateur HF formé par l'anneau en ferrite qui permet le couplage avec le récepteur. Le circuit LC d'antenne du poste se charge de la réjection des harmoniques impaires inhérentes à la modulation d'impulsions.

Sur un plan pratique, nous avons installé le nano-ordinateur Pico sur un support. Le but est de pouvoir le remplacer en cas de problème ou de défaut d'approvisionnement de cette référence. On ne sait pas ce que nous réserve l'avenir, dans cette crise de pénurie de composants. Si elle perdurait, nous n'aurions pas à

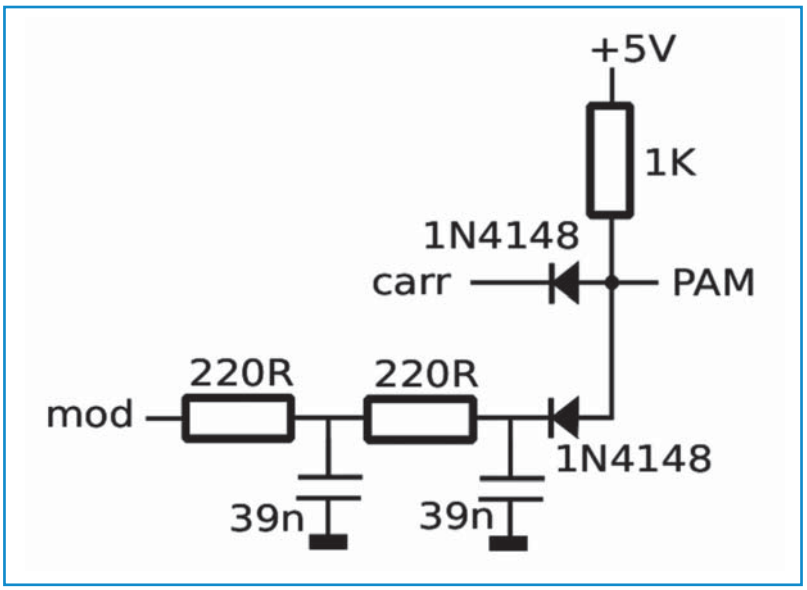


Figure 7 : les résistances 220 Ω et les condensateurs 39 nF déterminent la fréquence de filtrage permettant d'obtenir le signal analogique.

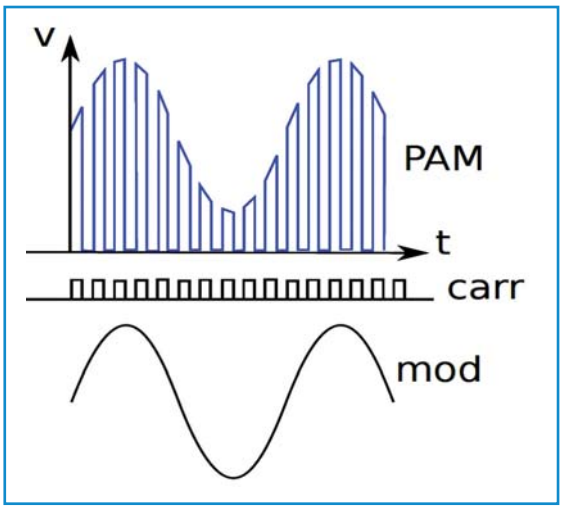


Figure 8 : schéma d'échantillonnage d'un signal temporel, chaque échantillon est mesuré et transformé en nombre binaire. Ces nombres sont alors acheminés sous forme de 1 ou 0 sur un train numérique.

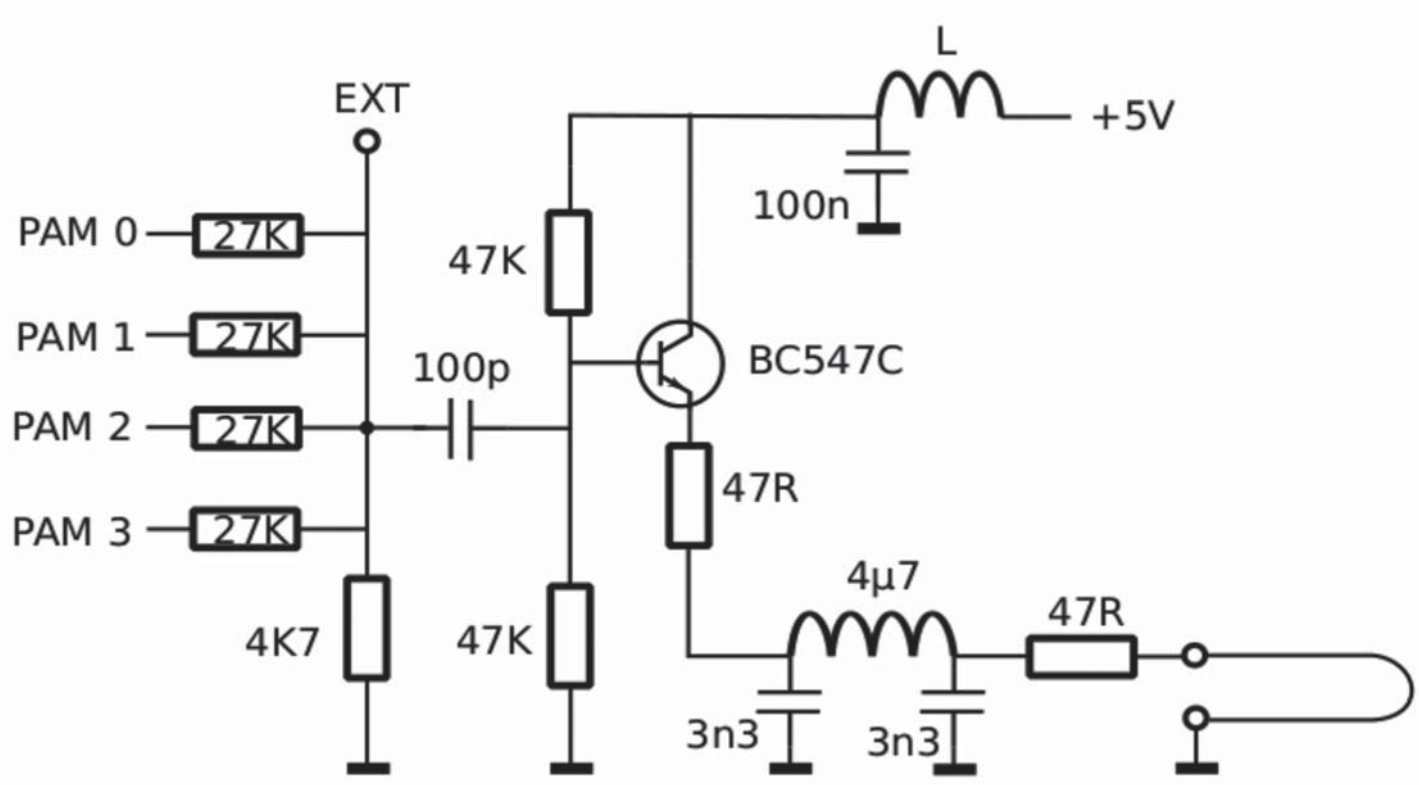


Figure 9 : schéma de principe de l'étage de sortie du modulateur AM8.

abandonner notre étude en jetant à la poubelle le travail effectué… L'équipe Radiofil, aidée de la communauté des *radiofilistes*, finira bien par identifier une solution de remplacement de ce composant, s'il devient véritablement indisponible.

Ce projet est un projet ouvert, dans le sens de la licence GPL (General Public Licence). Le schéma et le logiciel resteront disponibles pour tous. La licence GPL vous permet de construire vous-même votre propre modulateur, sans avoir à payer de droits aux concepteurs. Mais ne pas oublier que la GPL n'autorise pas tout. Par exemple, copier sans noter la référence Radiofil est interdit. Par ailleurs, si vous deviez modifier et / ou améliorer le montage du modulateur, il serait obligatoire de partager les modifications avec les concepteurs.

Nous sommes certains que les amateurs respecteront les termes de cette licence.

Nous vous invitons à approcher la technologie de la SDR. C'est passionnant et pas si complexe que vous le pensez. Ensuite, le système d'exploitation Linux peut être employé pour de nombreux usages applicables sur un ordinateur ou un microprocesseur. Un ordinateur de récupération est parfait pour cela.

Le projet de réalisation d'un tel modulateur est trop important pour un seul amateur. Organiser un service après-vente est impossible pour l'équipe des concepteurs. Un fil du forum sera disponible pour cela si vous décidez de construire et de développer vous-même ce modulateur.

En revanche, pour tous ceux qui ne sont pas techniciens ou qui n'ont pas l'envie ou le temps de développer et de construire un AM8, Radiofil proposera une platine câblée et testée prête à l'emploi, avec un logiciel d'exploitation qui nécessitera, comme base de connaissances en informatique, uniquement celle qui est requise pour l'emploi d'un navigateur internet. Voilà qui devrait rassurer les *radiofilistes* peu ou pas familiarisés par le digital !

Rendez-vous dans deux mois, avec l'édition n° 116 de *Radiofil magazine*, pour le troisième volet de ce projet qui sera consacré au détail de la technologie et des composants retenus pour la fabrication du module, avec la liste et l'explication et toutes les fonctionnalités dont la faisabilité et l'utilité auront été validées.

En attendant, continuez d'enrichir le fil de discussion du forum qui s'étoffe de jour en jour et sur lequel l'équipe donne fréquemment des nouvelles de l'avancement du projet et répond à toutes vos questions.

L'adresse : **https://forum.retro-technique.org/**

Sélectionner ensuite la catégorie « Modulateur AM8 ».

POUR L'ÉQUIPE AM8,
■ **EDUARD HONTELÉ**
RFL6308

MISE EN FORME ■ **DWK**

Crédit photos :

Figure 1 : constructeur Sylphase **https://silphase.com/**

Figure 3 : récepteur SDR en ligne – Pieter-Tjerk de Boer – **http://websdr.ewi.utwente.nl:8901/**

Figures 4 et 6 : clichés Eduard Hontelé.

Niveau : moyen

Modulateur AM huit fréquences : AM8

Partie 3 : les fonctionnalités retenues et les technologies choisies

Pour les nouveaux radiofilistes, comme pour ceux qui ont la mémoire fragile, voici un bref résumé de la situation. En ce début d'année (n°114 de Radiofil magazine), nous lancions un nouveau projet ambitieux : concevoir, fabriquer et proposer aux membres, un modulateur AM capable de générer huit porteuses simultanées programmables sur n'importe quelle fréquence normalisée des bandes GO et PO, porteuses par ailleurs modulées « en direct » à partir des programmes actuels des stations qui ont cessé leurs émissions en AM. Le but : redonner de la vie et de la voix à nos récepteurs TSF.

Une équipe, aujourd'hui constituée de cinq personnes, travaille à la réalisation de ce projet avec un objectif fondamental : proposer un module simple à mettre en œuvre et à exploiter, ne réclamant pas de connaissances techniques particulières, pour un coût raisonnable.

La seconde partie de la présentation de ce projet (Radiofil magazine n°115 de mars/avril) fut consacrée à l'explication du principe majeur mis en œuvre dans cette étude : la radio logicielle, connue sous l'abréviation SDR, pour « Software Defined Radio ».

Ce troisième volet vous propose le résultat des réflexions, tests, évaluations et qualifications des différents modules conçus et réalisés sous forme de maquettes qui ont permis à l'équipe de définir plus précisément le périmètre des fonctionnalités possibles, ainsi que des technologies les plus adaptées à leur réalisation. Nous entrons ici dans le vif du sujet…

Figure 1 : à droite, le prototype du matériel, à gauche le PC supportant le logiciel IHM de configuration du modulateur. Au centre, l'heureux récepteur TSF qui a retrouvé des porteuses AM en GO et en PO, avec les modulations des stations originelles !

Depuis quatre mois que le projet a démarré sous cette forme, l'équipe n'a pas chômé ! Le concepteur de la platine matérielle et de l'environnement logiciel embarqué, Eduard Hontelé, a élaboré plusieurs montages, sous forme de maquettes, que nous avons ensuite évalués lors de diverses sessions de mesures. Mises au point, optimisations, recherches de composants disponibles et pérennes, les difficultés rencontrées ont pimenté cette période, la rendant passionnante à souhait !

À ce jour, une fois les différentes hypothèses validées, nous avons pu retenir l'architecture globale qui nous a semblé la plus optimisée et la plus aisément reproductible à des coûts acceptables, pour mener ce projet à terme, dans les meilleures conditions.

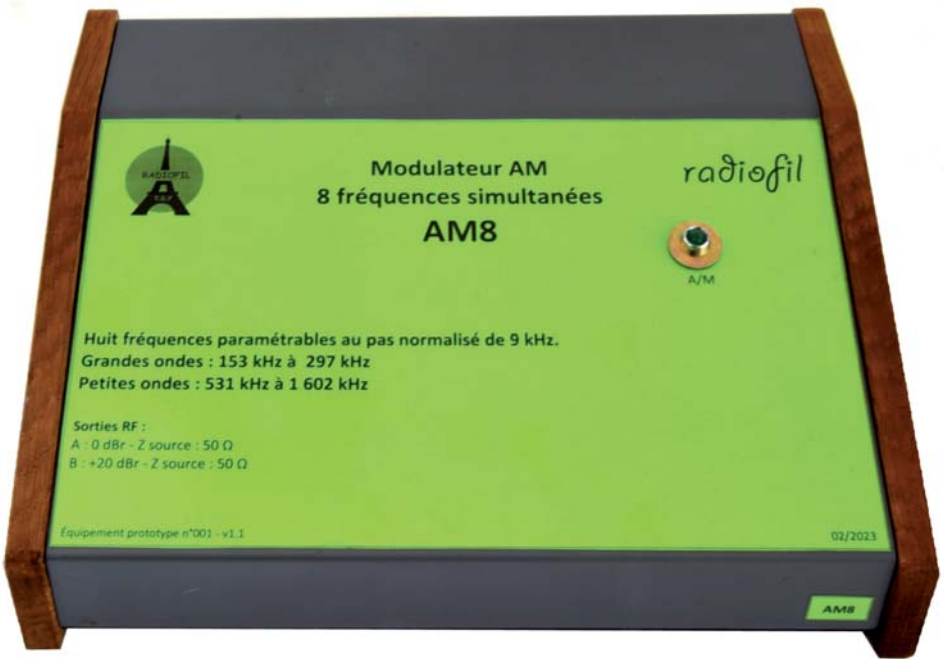


Figure 2 : ce prototype est utilisé comme une plateforme pour évaluer les différents montages en test. Le coffret permet d'intégrer proprement tous les modules. L'objectif, au bout du compte, est de fabriquer une seule carte compacte que chaque amateur pourra intégrer dans un boîtier de son choix.

Architecture

Le modulateur AM8 s'articule autour de trois « modules » de base :

☛ le matériel : il s'agit de la plateforme matérielle composée d'un unique circuit imprimé accueillant tous les sous-ensembles et composants digitaux et analogiques, ainsi que les connecteurs d'entrées et de sorties nécessaires aux diverses interconnexions ;

☛ le logiciel embarqué : il constitue le moteur de l'équipement. C'est lui qui va générer les huit porteuses (sur le principe de la SDR), affecter les flux audio aux porteuses, puis assurer la cohérence du déroulement des différentes tâches permettant d'aboutir aux fonctionnalités requises. Ce logiciel est « encapsulé » dans un premier calculateur (RPI) placé sur la platine matérielle et reste transparent pour l'utilisateur ;

☛ le logiciel IHM (Interface Homme Machine) : son rôle est d'assurer la communication la plus conviviale possible avec l'utilisateur. Il doit traduire les demandes de ce dernier : choix des fréquences à programmer, sélection du programme à affecter pour chacune des fréquences, démarrer / arrêter la diffusion et quelques fonctions annexes. L'IHM a aussi la mission de délivrer à l'utilisateur les informations montrant que l'équipement a bien pris en compte ses demandes et d'afficher l'état de fonctionnement du système. Ce logiciel est chargé dans un second sous-ensemble nano ordinateur (OPZ2), constituant la seule véritable section de l'équipement en relation directe avec l'utilisateur. Le rôle de ce logiciel est déterminant, car quelle que soit la performance du montage, si sa mise en service et son exploitation s'avèrent complexes, c'est l'échec assuré...

Nous allons revenir plus en détail sur ces différents modules, au travers de l'examen du schéma synoptique et des fonctionnalités retenues.

Fonctionnalités

La liste des fonctions imaginées lors de la rédaction du cahier des charges de ce projet (cf. n° 114 du magazine) a finalement été validée dans sa quasi-totalité !

Ainsi, le module de série permettra :

☛ la génération de huit porteuses simultanées à choisir indifféremment parmi les fréquences normalisées des bandes PO et GO, soit une palette de 135 fréquences possibles ;

☛ l'affectation d'une modulation à chacune de ces fréquences, parmi trois possibilités :

- un programme sonore d'une station de radiodiffusion, captée en direct via l'internet ,
- une source sonore enregistrée via un fichier au format mp3 ,
- une entrée audio externe (niveau ligne) destinée à recevoir la sortie d'un lecteur de CD ou de tout autre équipement délivrant une modulation audio (une seule entrée AF externe à affecter via des cavaliers, à un ou plusieurs des canaux de diffusion) ;

☛ le raccordement de un à X récepteurs (plusieurs dizaines possibles) au travers d'une ligne de transmission formée de deux fils torsadés, raccordée entre la sortie RF de la platine et chacun des récepteurs, via un couplage assuré par un anneau ferrite. Tout récepteur, quels que soient sa technologie et son âge, pourra être raccordé sur ce principe, pourvu qu'il dispose d'entrées « Antenne » et « Terre » ;

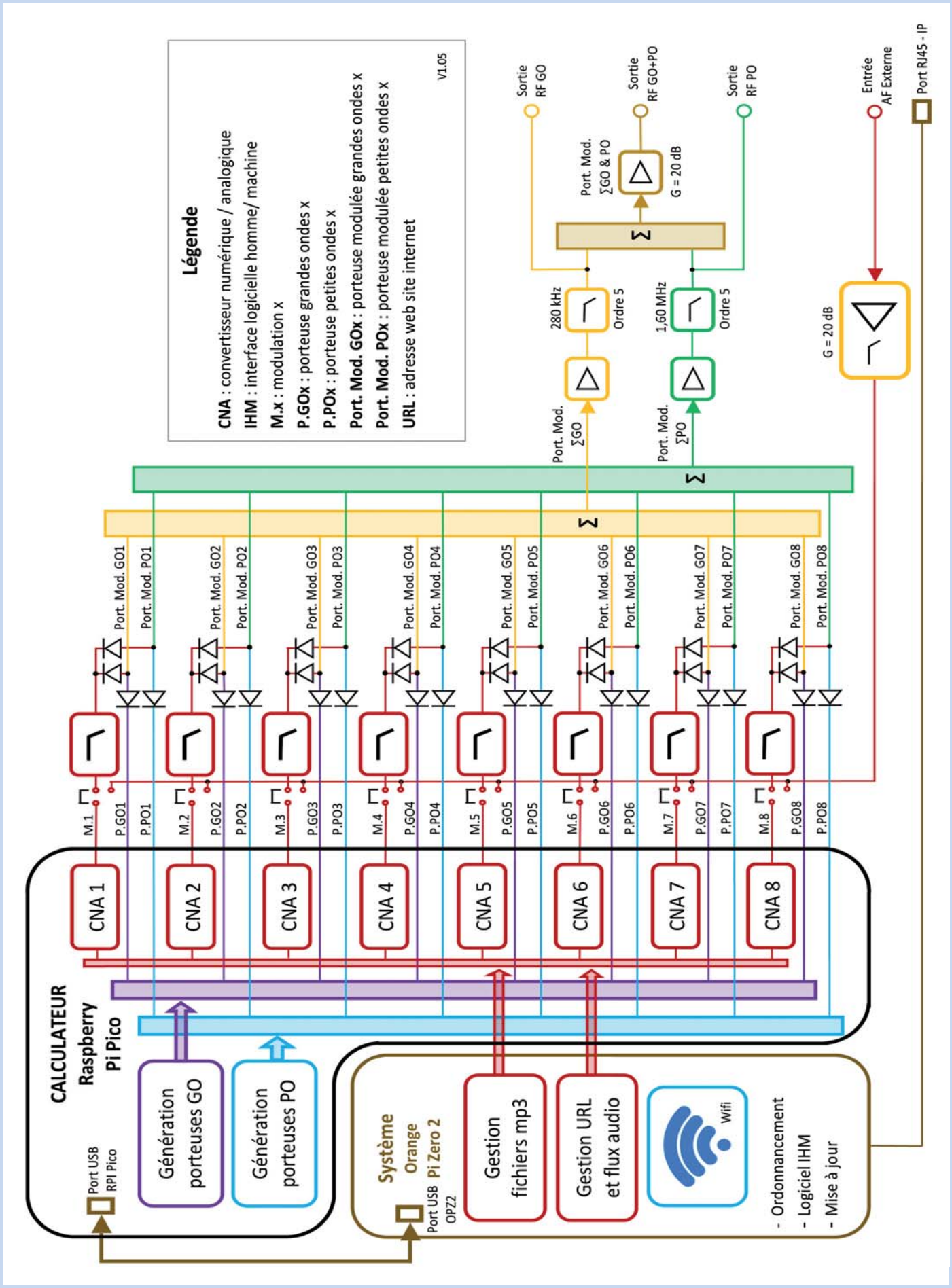


Figure 3 : schéma synoptique du modulateur AM8.

☛ des sorties RF annexes, dissociées pour les PO et les GO, à destination des amateurs souhaitant réaliser des amplificateurs HF pour une diffusion hertzienne de proximité ;

☛ une configuration « usine » autorisant l'utilisateur à faire fonctionner directement le module sans passer par le raccordement d'un ordinateur externe (PC ou Mac) ;

☛ l'affectation de signaux AF sinusoïdaux sur X fréquences afin de transformer l'équipement en générateur RF d'atelier, pour l'aide à l'alignement des récepteurs.

Schéma synoptique

L'architecture matérielle et fonctionnelle de la platine est représentée en figure 3.

À gauche de ce schéma, la section « Calculateur » constituée d'un premier nano ordinateur, de type *Raspberry Pi Pico (RPI*), qui a en charge le traitement de l'ensemble des opérations digitales et de l'ordonnancement des tâches, dont :

☛ la génération des porteuses dans la bande des petites ondes entre 531 kHz et 1 620 kHz, parmi une liste de 120 fréquences normalisées possibles ;

☛ la génération des porteuses dans la bande des grandes ondes entre 153 kHz et 279 kHz, parmi une liste de 15 fréquences normalisées possibles.

En bas à gauche du schéma, le second micro/nano ordinateur, modèle *Orange Pi Zéro 2* (OPZ2), permet de remplacer la solution initialement prévue à base d'un ordinateur portable ou de bureau (voir *Radiofil magazine* n° 114, page 10).

Depuis le début de l'aventure AM8, nous avons cherché à privilégier la simplicité pour l'utilisateur final. C'est dans cet état d'esprit que nous avons modifié notre stratégie et que nous avons opté pour une configuration la plus compacte, la plus autonome et la plus universelle possible.

Il nous fallait trouver une configuration répondant aux critères suivants :

- encombrement le plus faible possible ;
- disponibilité avérée ;
- coût raisonnable.
- facilité d'utilisation ;
- solution logicielle accessible via des outils standards.

L'ordinateur portable prévu pour l'exploitation de l'AM8 a donc laissé sa place à un micro-ordinateur mono carte *Orange Pi Zéro 2* (OPZ2 pour les intimes), dont une représentation est visible en figure 4.

Ce micro-ordinateur, qui est un parent du *Raspberry Pi*, a été retenu, car il reste très largement disponible sur le marché, à la différence de son illustre aîné.

Sur une carte mesurant à peine six centimètres de côté, nous avons toute la puissance de calcul nécessaire, ainsi que tous les moyens de communication (port USB, connecteur RJ45 et même une interface WiFi) requis pour le bon fonctionnement du modulateur AM8.

Pour la section digitale de ce projet, nous avons ainsi constitué un ensemble composé de deux nano / micro-ordinateurs : l'OPZ2 et le RPI. Le rôle du RPI Pico vous ayant déjà été présenté (*Radiofil magazine* n° 115), nous vous détaillons ci-après les tâches essentielles confiées à l'OPZ2, au sein de l'AM8, que l'on peut lister ainsi :

☛ la captation des flux audio digitaux des programmes de radiodiffusion accessibles sur le web, via une entrée câblée (connecteur RJ45), ou via le réseau Wifi de la box de l'utilisateur ;

☛ le stockage et l'organisation des fichiers audio au format mp3 ;

☛ la lecture ou la génération (à l'étude) de fréquences sinusoïdales locales ;

☛ l'ordonnancement de toutes les tâches, assuré par le cadencement de l'horloge interne du calculateur ;

☛ l'intégration d'un module serveur, supportant le logiciel IHM de configuration et de visualisation de l'état des fonctionnalités de la platine

☛ un dispositif de mise à jour des logiciels embarqués et IHM.

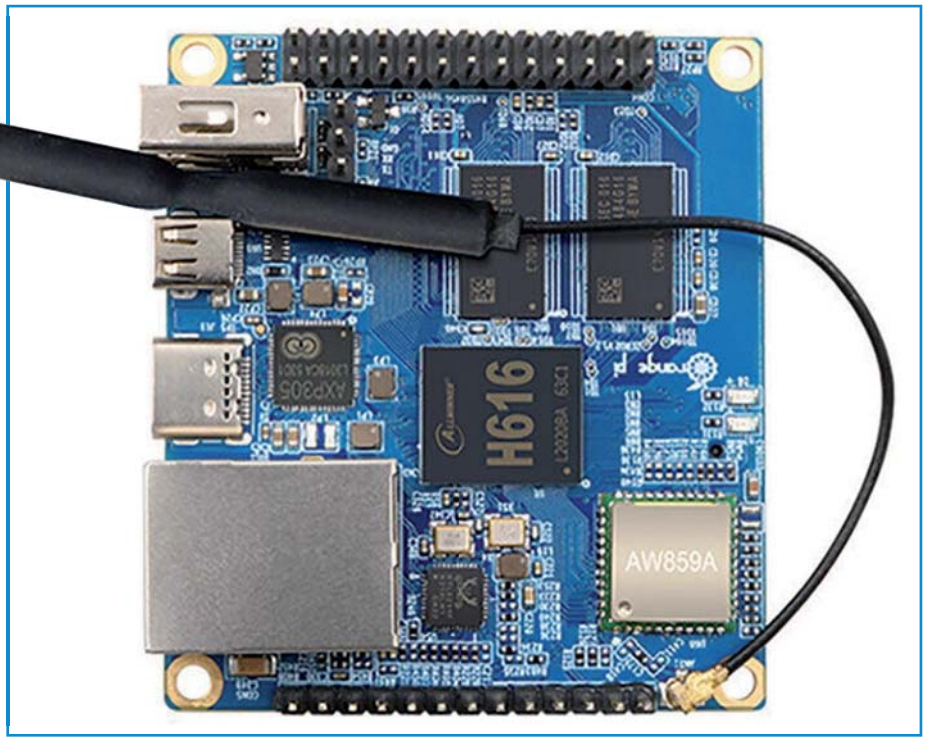


Figure 4 : le second calculateur constitué d'un nano-ordinateur Orange Pi Zéro 2 (OPZ2) est chargé essentiellement du rapatriement et de la gestion des flux audio et des fichiers mp3.

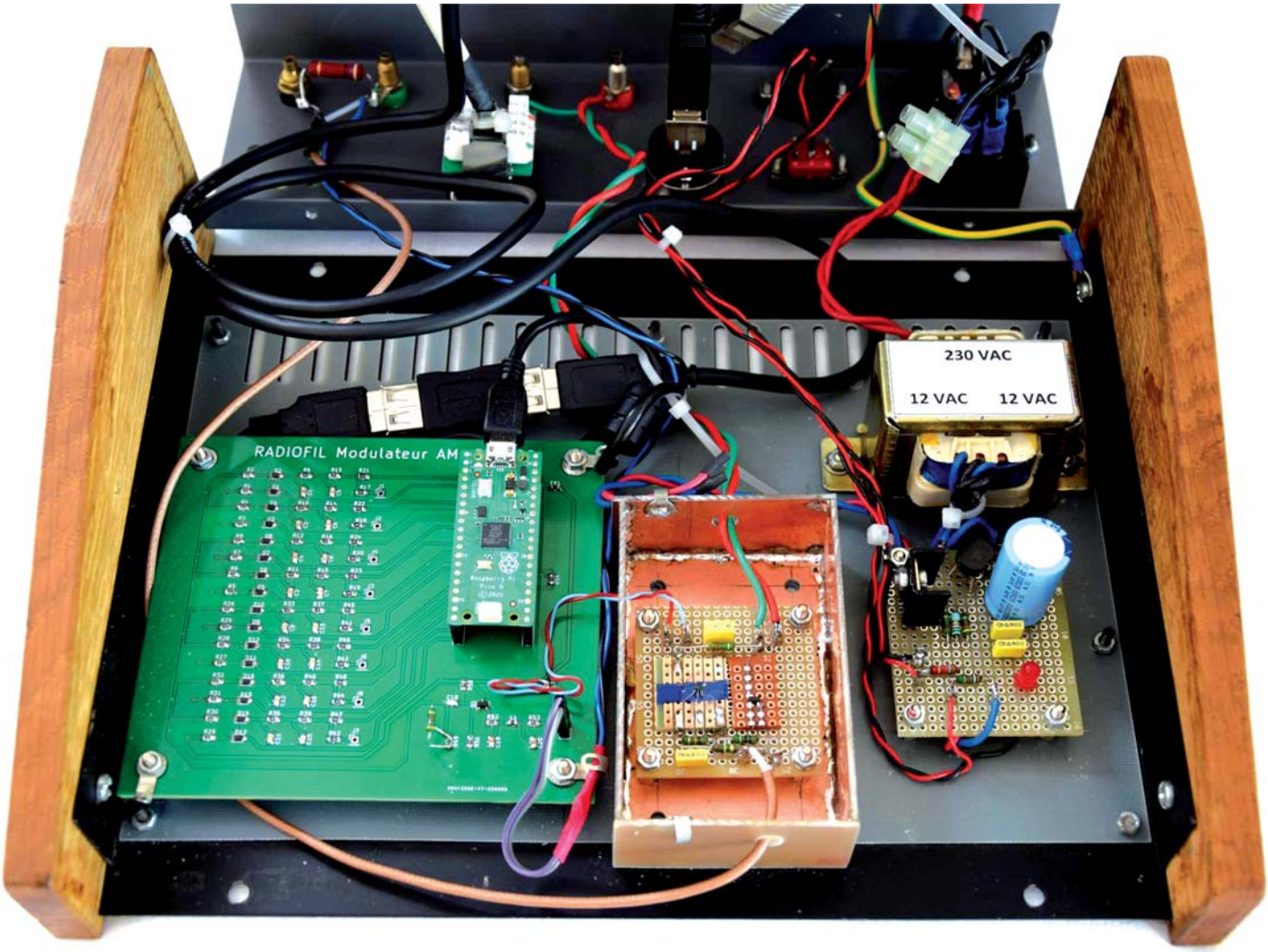


Figure 5 : dans le coffret de cette version du prototype en cours de développement, on peut distinguer, de gauche à droite : • la platine AM8 supportant tous les circuits analogiques et le calculateur Raspberry Pico 2 ; • l'amplificateur RF de sortie des porteuses GO + PO ; • l'alimentation.

L'acquisition et l'ordonnancement des flux et des fichiers audio sont donc assurés par l'OPZ2, qui va ensuite distribuer le contenu de ces modulations digitales via un programme, écrit en langage C, dédié à cette mission. Il s'agit en fait d'une boucle sans fin qui reçoit les flux (jusqu'à huit en simultané) puis les cadences pour les transmettre au RPI Pico qui prend le relais pour la génération des porteuses modulées qui iront nourrir nos récepteurs TSF.

La relation entre les deux calculateurs s'effectue par une liaison au format USB.

Au sein du calculateur RPI, les signaux audio digitaux sont dirigés vers huit convertisseurs digitaux / analogiques (CNA1 à CNA8). La sortie de chacune de ces modulations, une configuration matérielle obtenue par une série de huit cavaliers, assure la sélection du type de modulation souhaitée par l'utilisateur : Web / mp3 ou entrée AF externe analogique.

À l'issue de cette sélection, chaque canal de modulation transite dans un filtre passe-bas afin d'en limiter la courbe de réponse audio, conformément aux spécifications de la radiodiffusion AM.

L'étape technique suivante consiste à moduler chacune des huit porteuses avec la source audio qui lui a été affectée. Cette mission est assurée par le jeu de diodes placées respectivement dans le circuit de sortie des porteuses et celui des signaux audio filtrés.

Il ne reste plus qu'à additionner ces porteuses modulées, par bande de fréquence (PO et GO), au travers d'un amplificateur sommateur. Celui des grandes ondes est suivi d'un filtre passe-bas d'ordre cinq, dont la mission est de rejeter les fréquences harmoniques afin d'atténuer très significativement le risque de retrouver les programmes GO aussi dans la bande des PO.

L'amplificateur sommateur des canaux générés en petites ondes est suivi, lui aussi, d'un filtre d'ordre cinq, afin d'atténuer les fréquences harmoniques de ces porteuses PO en limitant leur présence sur les bandes supérieures (OC).

À la sortie de ces deux filtres, le montage est donc capable de fournir un signal RF modulé dans la bande des GO, et un autre dans la bande des PO. Il est prévu de mettre ces deux signaux à disposition de l'utilisateur, via des picots de sortie. Ils seront utiles

pour un raccordement éventuel vers des amplificateurs RF dédiés à chaque bande de fréquence, dont l'objectif pourrait être de diffuser les canaux modulés via deux liaisons hertziennes expérimentales.

Notre projet prévoyant une diffusion par couplage, les signaux RF des GO et PO sont additionnés et amplifiés via un amplificateur au gain de 20 dB, particulièrement performant sur le plan de la linéarité. Les caractéristiques de sortie de cet amplificateur ont été étudiées pour alimenter la ligne de transmission et assurer un couplage correct d'une centaine de récepteurs, pour une longueur de ligne pouvant atteindre jusqu'à cinquante mètres. Dans ces conditions, le niveau du signal RF restera suffisant pour garantir une réception optimale sur le parc de récepteurs.

L'entrée audio externe bénéficie d'une amplification de 20 dB comportant une pré-limitation de la courbe de réponse dans le haut du spectre. N'importe quelle source audio dont le niveau est au moins égal à 100 mV pourra être raccordée à cette entrée.

Enfin, la platine dispose d'un port IP-RJ45 (sur l'OPZ2) destiné au raccordement d'un ordinateur, nécessaire à la configuration « sur mesure » de la platine, via le logiciel IHM. Le port IP-RJ45 prend aussi en charge la liaison vers un réseau local pour la récupération en direct des flux audio des stations de radiodiffusion, dans le cas où l'amateur souhaite privilégier cette solution filaire plus fiable plutôt qu'utiliser son réseau Wifi.

Cette liaison pourra aussi être utilisée pour télécharger d'éventuelles et futures mises à jour des logiciels présents dans les calculateurs du modulateur AM8.

Le prototype matériel en cours (figure 5) montre la version N-1 du projet, la fabrication du circuit imprimé de la platine de dernière génération étant, au jour de la rédaction de ces lignes, encore en cours de réalisation.

Ainsi, notamment, on ne voit pas apparaître le calculateur OPZ2.

La platine finale qui sera proposée aux radiofilistes devrait normalement intégrer tous les composants et sous-ensembles sur un même cuivre, afin de supprimer un risque d'erreur dans l'interconnexion des modules internes.

Interface Homme Machine (IHM)

L'amateur doit pouvoir piloter et contrôler cette platine, sans suivre une formation en informatique industrielle ! C'est la raison de l'existence de l'IHM, un logiciel développé pour faire comprendre à la machine ce que le passionné de TSF attend d'elle…

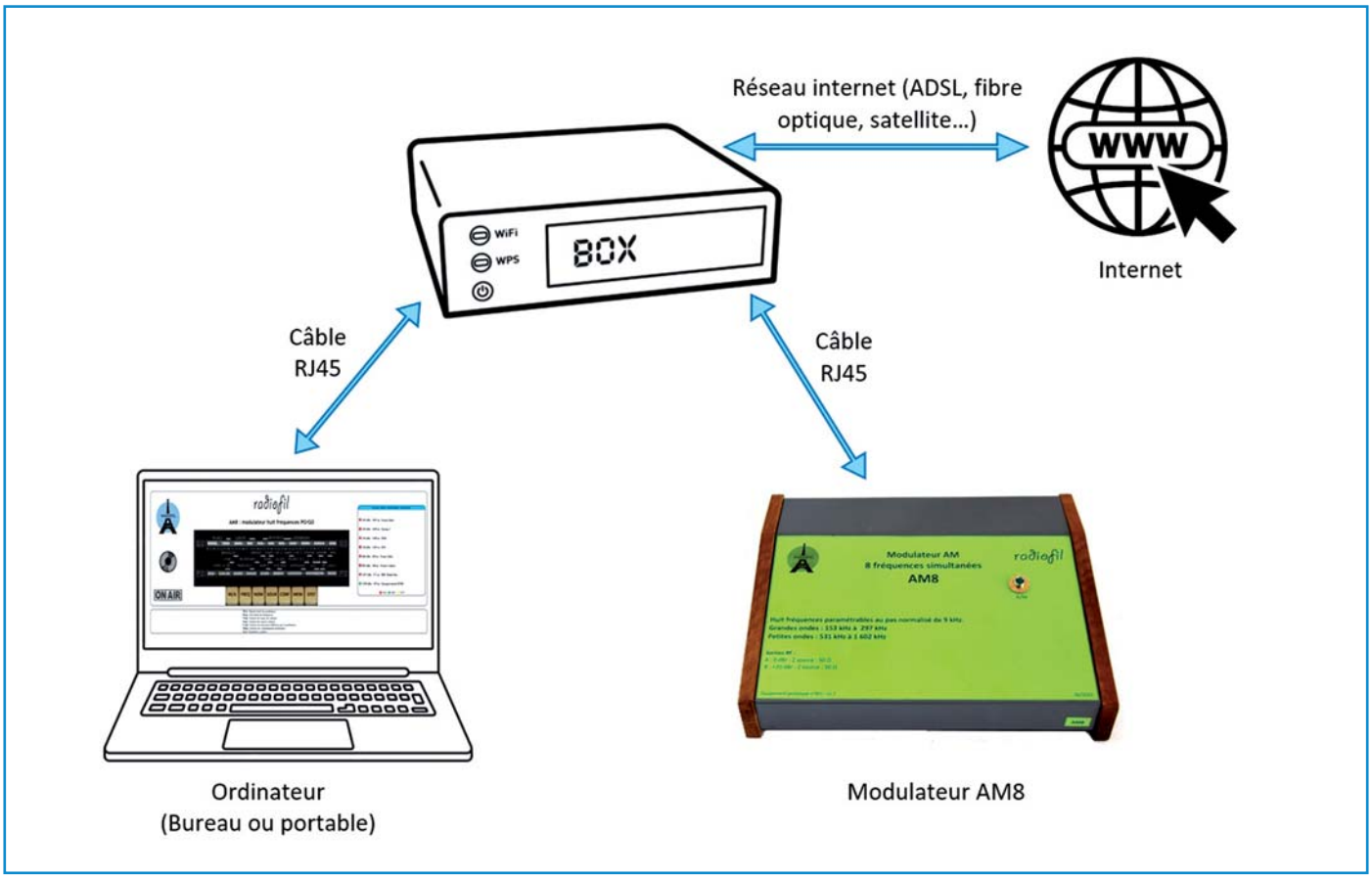


Figure 6 : principe de raccordement du modulateur AM8 nécessaire à la configuration des fréquences et des flux audio de modulation, via le réseau local personnel d'une installation classique d'accès à l'internet.

La mission de l'IHM est essentiellement axée sur la définition des fréquences des porteuses et la nature des flux audio qui vont moduler ces porteuses.

Qui dit paramétrage et contrôle dit nécessairement présence de commandes et de visualisation.

Même si cela était techniquement possible, nous n'avons pas prévu de doter l'OPZ2 d'un clavier et d'un écran ; ceci pour limiter l'encombrement physique et le coût de l'ensemble, alors que ces périphériques ne sont nécessaires que lors de la séquence de configuration de l'AM8.

En conséquence, l'accès à l'IHM suppose l'utilisation d'un ordinateur externe.

Nous sommes partis du postulat suivant : « tout le monde possède un ordinateur (de bureau ou portable) ». Nous avons donc considéré que la contrainte *utiliser un autre ordinateur pour accéder à l'IHM*, n'en était pas une.

De plus, puisque la source d'alimentation principale pour les flux audio est l'internet, cela signifie que, par définition :

1/ l'utilisateur dispose d'un accès internet, via une box ;

2/ le modulateur AM8 peut être raccordé au réseau local de l'utilisateur.

Cela permet donc de boucler la boucle : relier un autre ordinateur à l'AM8 pour accéder à l'IHM de configuration et de contrôle.

La figure 6 représente le principe de raccordement de l'AM8 sur un réseau local standard d'un usager de services internet. Ici, nous considérons une relation filaire, via des câbles RJ45. Une configuration via le réseau local Wifi constituera une option possible.

Ce type de fonctionnement est similaire à ce que vous connaissez déjà pour la gestion de votre « box » internet et ne devrait pas poser de problème pour une utilisation de base.

Notre cahier des charges initial prévoyait la définition d'une solution logicielle aussi universelle que possible. Il fallait donc imaginer une architecture indépendante du système d'exploitation des ordinateurs possibles (PC, Mac, avec Windows, Linux, MacOS…). Pour cette raison, nous avons opté pour une IHM développée en langage PHP. Ce langage est « universel », car c'est celui qui est employé par les navigateurs Web, quels que soient le type d'ordinateur et le système d'exploitation équipant ce dernier.

Nous avons étudié un mini-serveur web installé en local sur l'OPZ2, ce qui rend l'IHM accessible via tout navigateur internet digne de ce nom en suivant la même procédure que celle que vous mettez en œuvre pour visiter n'importe quel site web de la planète. Sauf qu'ici, le site web sera l'IHM du modulateur AM8. Il suffira de saisir l'adresse de ce mini serveur dans la barre de navigation (une adresse qui sera définie arbitrairement, par exemple : **http://192.168.1.88/index.php)**, et l'écran de votre ordinateur affichera directement un écran du type de celui qui est représenté figure 7 (attention, il s'agit d'un prototype, rien de contractuel !).

Tout sera fait pour que la navigation soit aussi intuitive que possible, avec de l'aide en ligne lorsque nécessaire.

Les fonctionnalités de cette interface étant encore en cours de développement, la description et la présentation de la figure 7 est indicative. La version finalisée fera l'objet d'un prochain article, assimilable à un mode d'emploi.

Pour « oublier » que nous avons affaire à un ordinateur, nous avons reproduit un environnement délibérément orienté « TSF », avec le cadran d'un récepteur (il s'agit de celui d'un AMPLIX), d'un bloc à touches (celui d'un meuble radio LOEWE-OPTA), sans oublier, bien entendu, la présence d'un œil magique !

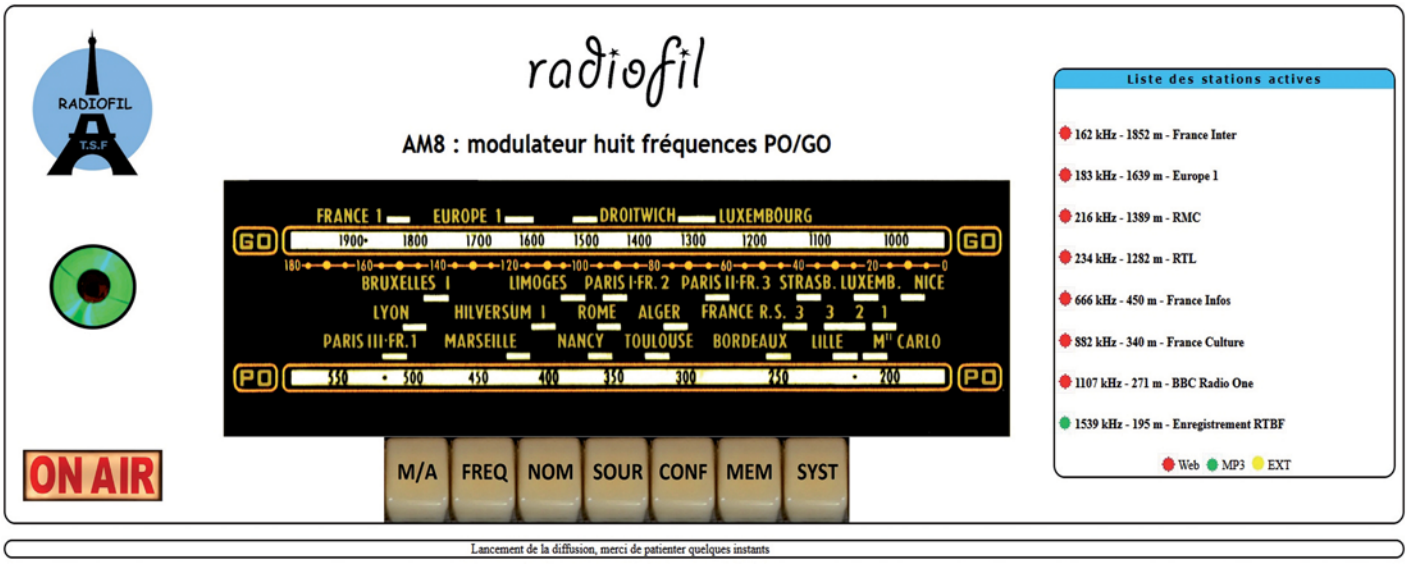


Figure 7 : écran IHM de configuration et de visualisation des fréquences et modulations diffusées à partir de l'équipement AM8.

Les principales fonctionnalités de ce panneau de configuration et de visualisation permettent de :

☛ lancer/stopper la diffusion des émissions ;

☛ gérer les sources audio ;

☛ gérer les fréquences de diffusion ;

☛ associer une source audio à une fréquence de diffusion ;

☛ gérer les paramètres système du modulateur.

Les commandes et visualisations démontrent une réelle simplicité d'utilisation :

le bloc à touches centralise les commandes accessibles. Un simple appui sur l'une des touches suffit à actionner la fonction ou dérouler un menu situé juste en dessous du bloc :

M / A : Marche / Arrêt du modulateur AM8 ;

FREQ : activation de la diffusion des fréquences programmées. La sélection s'effectue au travers d'une liste déroulante proposant toutes les fréquences normalisées des bandes GO et PO ;

NOM : gestion et zone de saisie permettant d'affecter un nom de station à chacune des fréquences sélectionnées ;

SOUR : gestion et zone de saisie permettant de sélectionner la source audio (Web, ficher mp3, entrée audio extérieure) pour chacune des fréquences configurées ;

CONF : gestion des émissions diffusées par le modulateur AM8 ;

MEM : gestion des configurations prédéfinies ;

SYST : paramètres et gestion du système.

À gauche de l'écran de l'IHM, l'œil magique dispose de trois états :

☛ ouvert et gris : modulateur à l'arrêt ;

☛ ouvert et vert : modulateur en marche, mais pas de diffusion en cours ;

☛ fermé et vert : modulateur en marche et en cours de diffusion de tous les canaux programmés.

En dessous, un afficheur « ON AIR » passe au rouge dès que les porteuses modulées sont diffusées sur les sorties RF du modulateur AM8.

À droite du cadran, la liste des stations en cours de diffusion avec la fréquence, la longueur d'onde et le nom attribué, pour chacun des huit canaux possibles. En entête de chaque station figure un index de couleur différente en fonction du type de source sélectionnée (Web, mp3, audio extérieur).

Enfin, nous étudions la possibilité de « montrer » directement sur le cadran, à l'aide d'un repère de couleur, la position de chacune des stations programmées.

Une fois les canaux programmés, l'AM8 est autonome. Il est alors tout à fait possible de déconnecter l'ordinateur sans nuire à la diffusion des stations configurées.

Conclusion provisoire

Le projet est sur les bons rails. Bien entendu, nous ne sommes pas à l'abri de difficultés de fabrication ou d'une nouvelle pénurie de composants... Mais au jour de la rédaction de ces lignes, les délais de développement, d'étude et de mise au point s'enchaînent au rythme initialement prévu.

Dans la prochaine édition de *Radiofil magazine* (n° 117), nous espérons pouvoir présenter le prototype d'identification de la série, ultime étape de l'étude démontrant à la fois la faisabilité « industrielle » du projet, mais aussi la réussite de l'intégration de l'ensemble des fonctionnalités étudiées.

Il y aura sans doute des aménagements, des modifications mineures, des optimisations au niveau de la présentation de l'écran de l'IHM, mais nous sommes aujourd'hui confiants quant au très faible risque de rencontrer un écueil sur une fonctionnalité majeure du modulateur.

L'équipe est au travail et reste disponible pour répondre aux questions que vous vous posez sur ce projet, via le forum dans lequel un espace dédié à l'AM8 a été créé pour l'occasion :

https://forum.retrotechnique.org/.

Une fois connecté, sélectionnez la catégorie « Modulateur AM8 ».

Nos TSF sont patientes... Elles seront récompensées à la hauteur de leur espérance et de leur attente ! Car elles vont toutes se remettre bientôt à chanter !

POUR L'ÉQUIPE AM8,

■ **Daniel WERBROUCK** (RFL 008)

avec la contribution de

■ **Claude TERRIER** RFL 26721

■ L'ÉQUIPE AM8 :

Eduard HONTELÉ (RFL 6308) : conception du matériel et du logiciel embarqué.

Claude TERRIER (RFL 26721) : conception / développement du logiciel IHM.

Jean-Michel BOURQUE (RFL 002) : candide, analyse critique de la pertinence des fonctionnalités et de l'ergonomie d'exploitation.

Laurent ROUFFIAC (RFL 7452) : conception du circuit imprimé de la platine du modulateur.

Daniel WERBROUCK (RFL 008) : coordination projet, mesures et tests des prototypes, rédaction notice d'utilisation, rédaction des articles de suivi du projet pour *Radiofil magazine*.

Crédit photos :

Clichés et dessins des figures 1, 2, 4, 5 : Daniel Werbrouck.

Cliché figure 3 : illustration captée sur le site http://www.orangepi.org.

Cliché figure 4 : Claude Terrier.

Niveau : moyen

Modulateur AM huit fréquences : AM8

Partie 4 : mesures et tests du prototype v2 d'identification de la série

Ce quatrième volet s'attache à évaluer la seconde version du prototype du modulateur huit fréquences AM8 réalisé à partir des choix technologiques présentés dans la précédente édition de Radiofil magazine. Les nouveaux adhérents de l'association pourront mettre à jour leur connaissance de ce projet en se reportant au résumé proposé dans l'encadré, en marge de cet article.

L'équipe a été confrontée à divers problèmes fonctionnels lors de la mise au point de cette maquette ; rien d'anormal dans ce genre d'étude relativement complexe où se mêlent des composants électroniques montés en surface avec des moyens « amateurs », des sous-ensembles du marché (calculateurs) qu'il faut apprendre à maîtriser et des logiciels « maison » écrits pour assurer les fonctionnalités visées. Lorsque tout ceci est assemblé, inévitablement, les problèmes apparaissent… Cette phase de mise au point est toujours en cours à l'heure où ces lignes sont rédigées, mais n'a pas empêché les tests essentiels et les mesures significatives des performances de l'ensemble de ce kit AM8. C'est ce que nous allons détailler dans cet article.

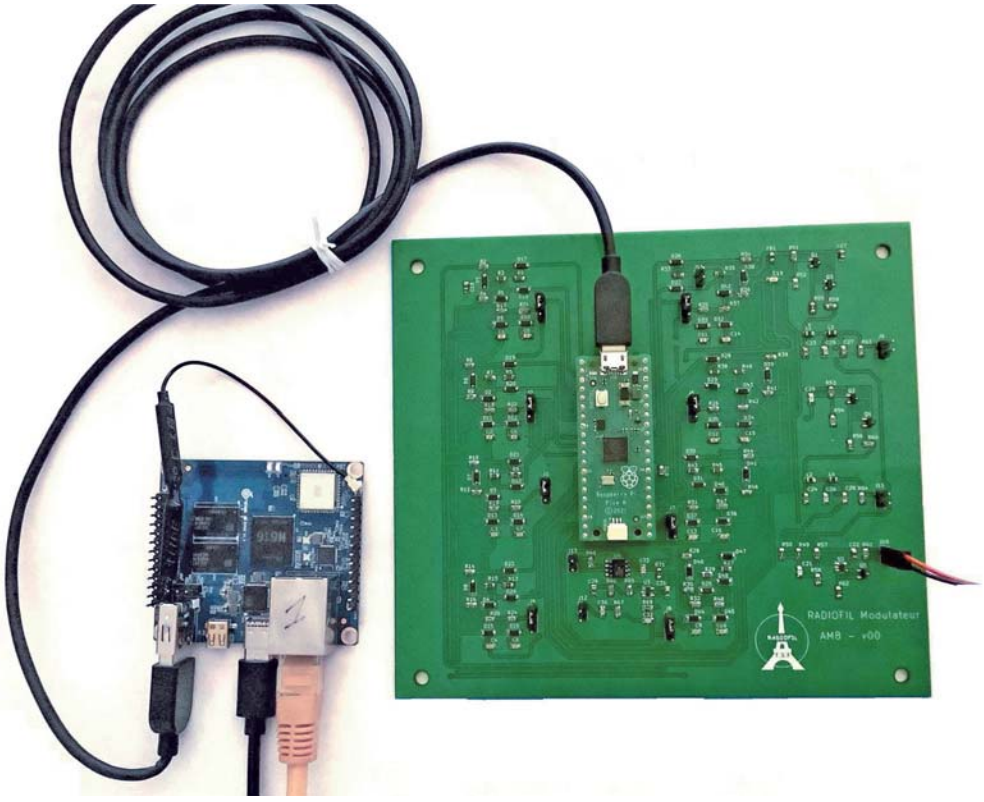


Figure 1 : Le kit complet de cette version 2 du prototype de l'AM8, avec ses câbles de liaison. À gauche le nano calculateur Orange Pi Zéro 2, à droite la platine Radiofil AM8 supportant tous les composants des étages de sortie HF PO et GO, ainsi que le microcontrôleur Raspberry Pi Pico.

Après avoir dessiné le circuit imprimé de cette seconde version. Nous avons fabriqué cinq exemplaires ; le câblage manuel des composants CMS fut assuré grâce à l'habilité et la minutie d'Eduard Hontelé.

Le fait de disposer de plusieurs pièces a permis de gagner du temps en parallélisant les tâches (matériel, logiciel, test) auprès des différents intervenants de l'équipe, situés géographiquement en des lieux très éloignés les uns des autres !

Composition du kit

La figure 1 montre les deux platines assurant la totalité des fonctionnalités de l'AM8 :

☛ le module Radiofil AM8 : il rassemble la totalité des composants assurant les fonctionnalités de génération des signaux RF, de la modulation des huit porteuses et des amplificateurs et filtres des sorties PO, GO et PO+GO.

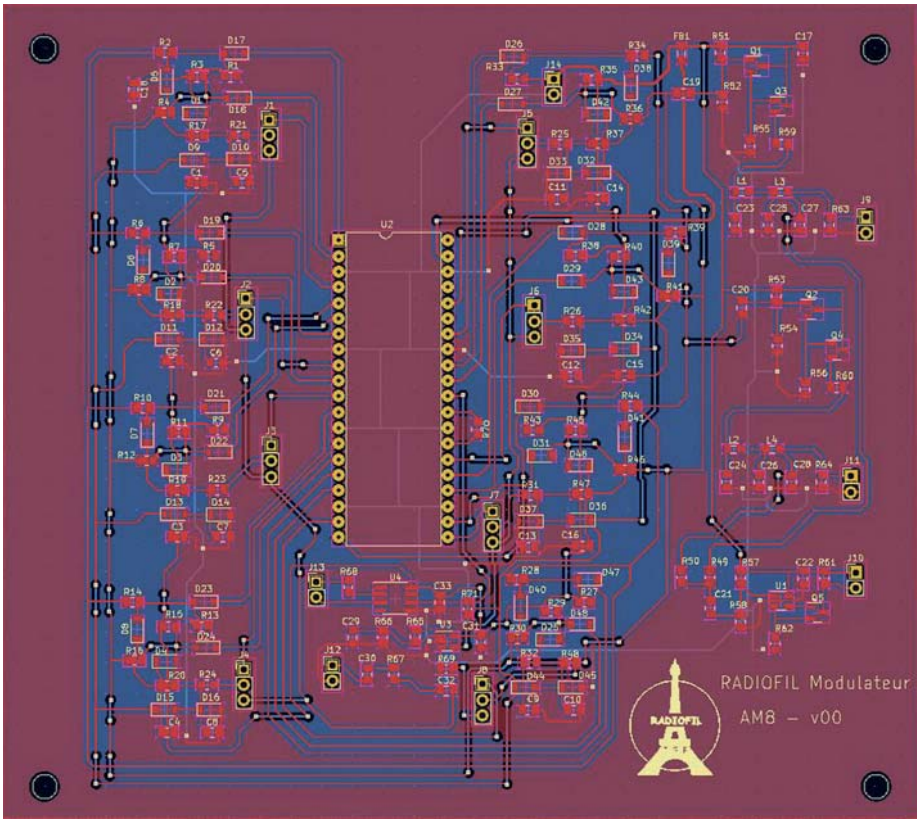


Figure 2 : dessin de l'implantation des composants sur la platine AM8. Sachant que le câblage des exemplaires de ce prototype a été effectué manuellement avec un fer à souder, la conception a été volontairement réalisée en laissant de l'espace entre chaque composant. Dimensions actuelles du circuit : 150 × 135 mm.

Les figures 2 et 3 montrent les détails de cette platine : implantation des composants, localisation des blocs fonctionnels.

☛ le calculateur Orange Pi Zéro 2 (OPZ2) : ce module industriel supporte le logiciel développé par Radiofil chargé de la gestion des flux audio, des fichiers mp3 et intègre le logiciel IHM (Interface Homme / Machine) sous forme d'un serveur web.

☛ les deux ensembles sont raccordés entre eux par un unique câble USB véhiculant à la fois la tension d'alimentation de la platine AM8 et les données d'échanges entre le calculateur et le microcontrôleur.

Le module OPZ2 reçoit la tension générale de 5 volts issue d'un bloc d'alimentation externe.

Ce dernier sera proposé sous forme d'un kit optionnel ou d'un bloc manufacturé (l'étude est en cours).

Enfin, un câble réseau RJ45 en provenance d'une « box » internet assure le rapatriement des flux audio des programmes des stations validées et la liaison vers l'ordinateur de paramétrage / consultation via l'IHM.

Afin d'effectuer les tests de manière propre et sécurisée, les deux modules ont été intégrés dans le boîtier utilisé pour le prototype initial, en lieu et place des modules de la version 1, remisés aux archives de cette étude.

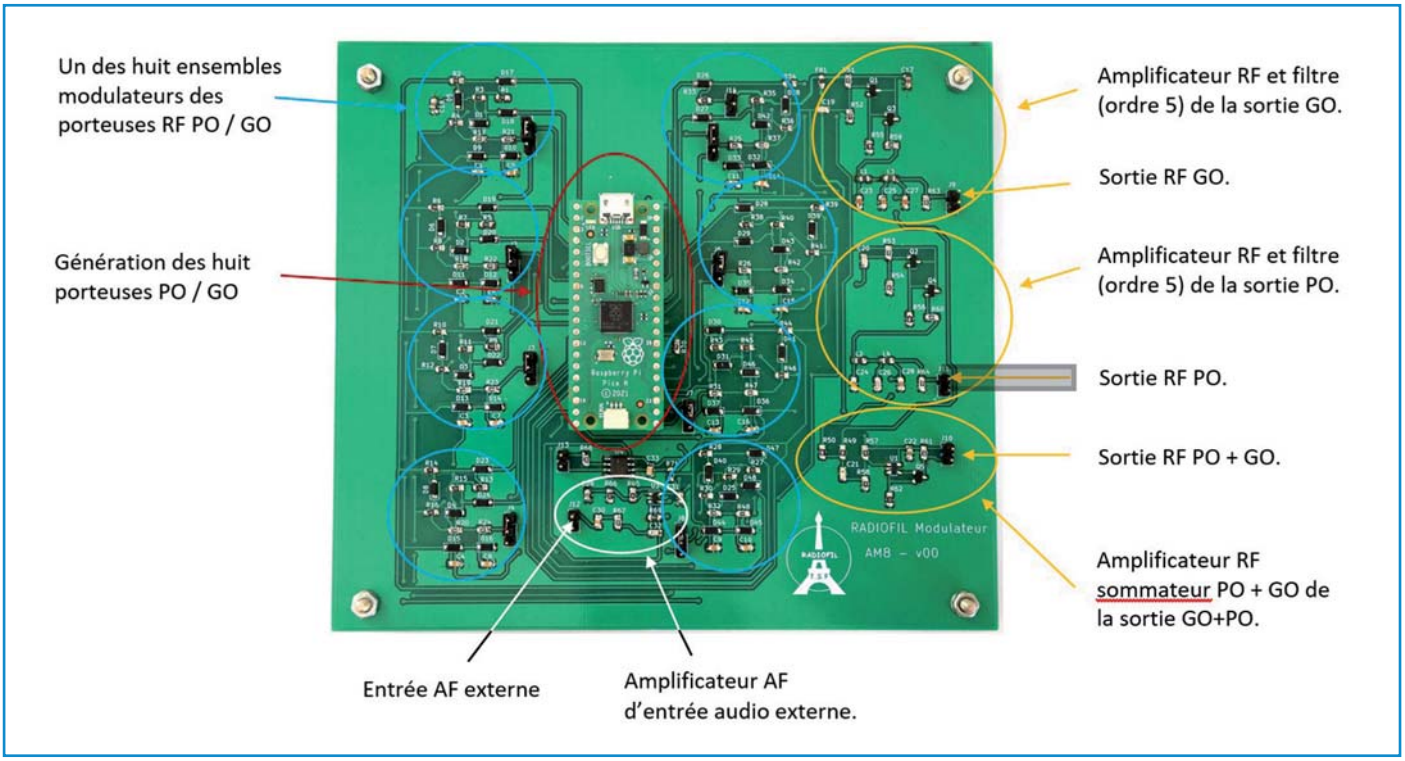


Figure 3 : cliché de la platine câblée et repérage des principaux blocs fonctionnels.

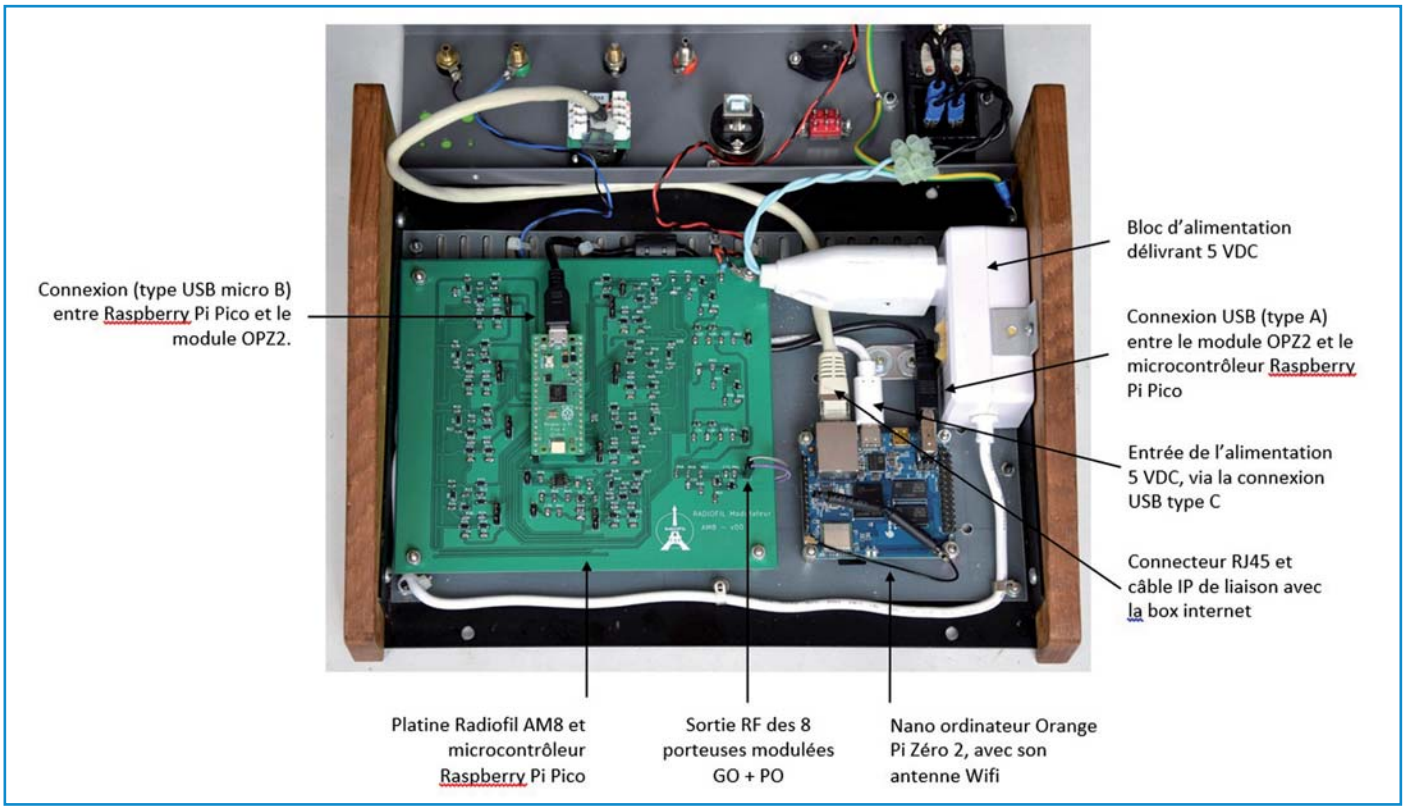


Figure 4 : intégration des modules dans le boîtier dédié au prototype.

La figure 4 montre cette intégration et le repérage des différents sous-ensembles et connecteurs.

Mise en service et test

Une fois les raccordements effectués et contrôlés, la sortie RF PO + GO est couplée à notre récepteur TSF témoin (Philips BF321A) via un tore ferrite, la liaison IP est raccordée sur la box internet, puis l'alimentation est appliquée sur le système.

À l'aide d'un PC raccordé au réseau (via la box) et l'adresse de l'équipement (URL) ayant été saisie à l'aide de n'importe quel type de navigateur internet, la liaison s'effectue immédiatement et l'écran de configuration de l'IHM apparaît sous forme d'une page web. Il est alors possible de paramétrer et de piloter la mise en service ou l'arrêt de l'AM8 grâce aux commandes proposées par l'interface (voir notre édition précédente pour la description détaillée des raccordements réseau et des fonctionnalités de l'IHM).

Le récepteur TSF diffuse alors les huit stations de manière parfaite, avec une qualité de réception paraissant optimale et une modulation claire et précise sur chacune des huit fréquences.

Voilà qui est rassurant pour une première mise en service de cette seconde version du prototype !

Place maintenant aux mesures, afin de vérifier si la première impression purement subjective s'avère aussi objective…

Nous avons réalisé deux séries de mesures avec notre banc habituel d'instrumentation de laboratoire :

Série A – Quantification des niveaux RF disponibles sur chacune des bandes de fréquences, après couplage via le tore ferrite retenu dans notre étude (choisi pour son rapport performances / prix), afin de contrôler que l'amplitude du signal RF injecté sur les prises Antenne et Terre du récepteur est suffisante pour l'obtention d'un confort d'écoute optimal.

Série B – Quantification des niveaux RF directement en sortie des étages GO, PO et GO+PO, ce qui donne une indication précise à ceux qui souhaiteraient construire ou adapter un ou plusieurs amplificateurs HF linéaires afin d'expérimenter une liaison purement hertzienne entre l'AM8 et les récepteurs.

Les résultats de cette session sont présentés sous forme de tableaux et de copies de l'écran de l'analyseur de spectre.

Fréquences et programmes utilisés pour les tests :

Figure 5 : nous avons programmé quatre stations dans la bande des GO et quatre stations sur la bande des PO. Sept programmes sont issus des flux audio captés en direct sur l'internet et le huitième diffuse un enregistrement stocké à partir de la mémoire de l'AM8.

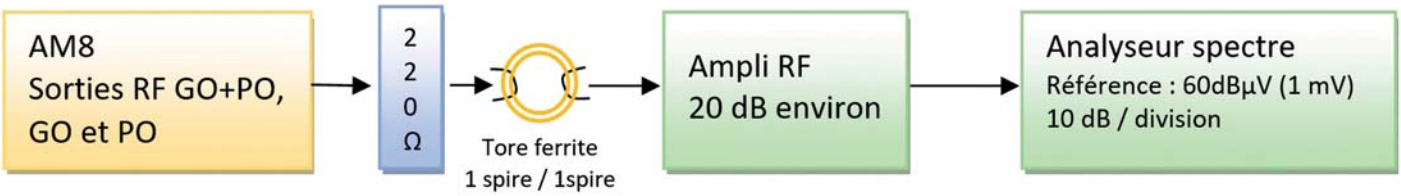


Figure 6 : schéma synoptique de la mesure des niveaux RF de sortie de l'AM8, après couplage via le tore ferrite.

Mesures série A : couplage via un tore ferrite

Une fois l'analyseur de spectre étalonné avec le générateur RF et la linéarité contrôlée entre 100 kHz et 2 MHz, les sorties GO + PO, GO et PO sont consécutivement raccordées vers un tore ferrite (primaire 1 spire) dont le secondaire (1 spire aussi) est dirigé vers un amplificateur d'isolement dont le rôle est d'éviter de charger le signal par la basse impédance (50 Ω) de l'analyseur, ce qui aurait pour conséquence d'affaiblir le niveau réellement disponible.

Enfin, la sortie de cet amplificateur, dotée d'une très faible impédance, est raccordée à l'entrée de l'analyseur de spectre (figure 6).

Le tableau de la figure 7 montre les résultats des mesures en fonction de la sortie RF raccordée.

Les niveaux relevés sur les fréquences de la bande GO peuvent paraître faibles. La différence avec les niveaux mesurés sur la bande PO (environ 6 dB) est imputable à l'affaiblissement provoqué par la réponse en fréquence du tore ferrite, dont les performances diminuent dans les fréquences basses.

Pour autant, en exploitation normale, c'est surtout la sortie GO + PO qui devrait être employée pour alimenter les postes TSF. Cette dernière bénéficie d'un amplificateur et permet aux porteuses des fréquences de la bande GO de retrouver du punch avec une moyenne de 67 dBµV (2,24 mV), ce qui est largement suffisant pour exciter un récepteur, même peu sensible.

La figure 8 donne un aperçu du spectre global GO + PO, capté après couplage via le tore ferrite.

Mesures série B : raccordement direct sur les sorties RF

Cette fois, l'analyseur de spectre, après étalonnage avec le générateur RF, est raccordé directement en sortie de la platine AM8, toujours au travers d'un amplificateur d'isolement afin de ne pas affaiblir le niveau par la charge d'entrée de l'instrument. Cette mesure intéressera ceux qui souhaiteraient étudier et / ou réaliser un amplificateur RF linéaire destiné à alimenter un cadre ou une antenne afin de créer une liaison purement hertzienne entre l'AM8 et le parc de récepteurs.

Sortie	Fréquence	Niveau mesuré	
		dBµV	mV
GO + PO	GO - 162 kHz	65	1,78
	GO - 183 kHz	66	2,00
	GO - 216 kHz	68	2,51
	GO - 234 kHz	68	2,51
	PO - 648 kHz	76	6,31
	PO - 702 kHz	76	6,31
	PO - 1 182 kHz	76	6,31
	PO - 1 440 kHz	76	6,31
GO	GO - 162 kHz	55	0,56
	GO - 183 kHz	55	0,56
	GO - 216 kHz	57	0,71
	GO - 234 kHz	57	0,71
PO	PO - 648 kHz	62	1,26
	PO - 702 kHz	62	1,26
	PO - 1 182 kHz	62	1,26
	PO - 1 440 kHz	62	1,26

Figure 7 : tableau récapitulatif des niveaux RF sur chacune des sorties, après couplage via un tore ferrite.

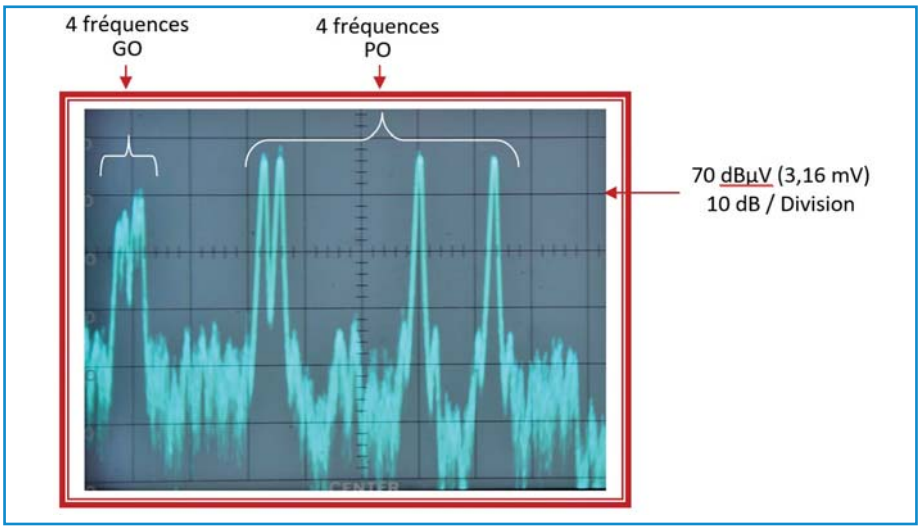


Figure 8 : spectre des bandes GO + PO en sortie du tore ferrite.

L'amateur aura le choix de sélectionner soit l'une des bandes (PO ou GO), soit la totalité du spectre GO + PO, s'il parvient à trouver des solutions pour fabriquer une antenne ou un cadre disposant de cette largeur de bande et d'une réelle capacité de rayonnement ! (dur, dur...).

Le tableau de la figure 9 montre les résultats des mesures obtenues sur chacune de ces sorties.

Les niveaux sont très confortables et devraient permettre d'attaquer l'entrée d'un amplificateur RF linéaire à tubes ou à transistors, dans de bonnes conditions. Rappelons toutefois que ce genre d'équipement reste expérimental, le rayonnement radio fréquence étant très encadré dans notre pays.

Ci-après la figure 10 montre les niveaux des porteuses captées respectivement sur la sortie GO et la sortie PO.

Sortie	Fréquence	Niveau mesuré	
		dBµV	mV
GO + PO	GO - 162 kHz	88	25,1
	GO - 183 kHz	88	25,1
	GO - 216 kHz	88	25,1
	GO - 234 kHz	88	25,1
	PO - 648 kHz	90	31,6
	PO - 702 kHz	90	31,6
	PO - 1 182 kHz	90	31,6
	PO - 1 440 kHz	90	31,6
GO	GO - 162 kHz	73	4,47
	GO - 183 kHz	73	4,47
	GO - 216 kHz	71	3,55
	GO - 234 kHz	71	3,55
PO	PO - 648 kHz	67,5	2,37
	PO - 702 kHz	67,5	2,37
	PO - 1 182 kHz	70	3,16
	PO - 1 440 kHz	70	3,16

Figure 9 : tableau récapitulatif des niveaux RF sur chacune des sorties directes de la platine AM8.

Contrôle sonore

Une écoute des différentes sorties couplées avec le tore ferrite a été effectuée via notre récepteur témoin Philips BF321.

Le confort d'écoute est très satisfaisant.

De légères interférences sont repérées à l'oreille entre les fréquences programmées ou à l'approche de celles-ci. Mais rien de vraiment gênant. On arrive à identifier, avec un niveau très faible, certains programmes sur les fréquences harmoniques, mais cela reste marginal et sans importance.

Mais comme notre ami Eduard est un perfectionniste, il cherche actuellement à améliorer la réception sur les GO, afin d'atténuer ces interférences qui pourraient gêner l'audition avec certains modèles de récepteurs, par la création d'un produit entre les fréquences des porteuses GO et celle de l'oscillateur du récepteur, dans le cas (plus fréquent qu'il n'y paraît) où la réjection de cette dernière vers la prise antenne ne serait pas vraiment optimisée.

Mais quel plaisir d'écouter les programmes actuels de RTL, Europe 1, Inter ou autres, bien en place sur le cadran du récepteur, avec la sensation de la manipulation de l'accord optimum du CV et la sonorité retrouvée de nos TSF !

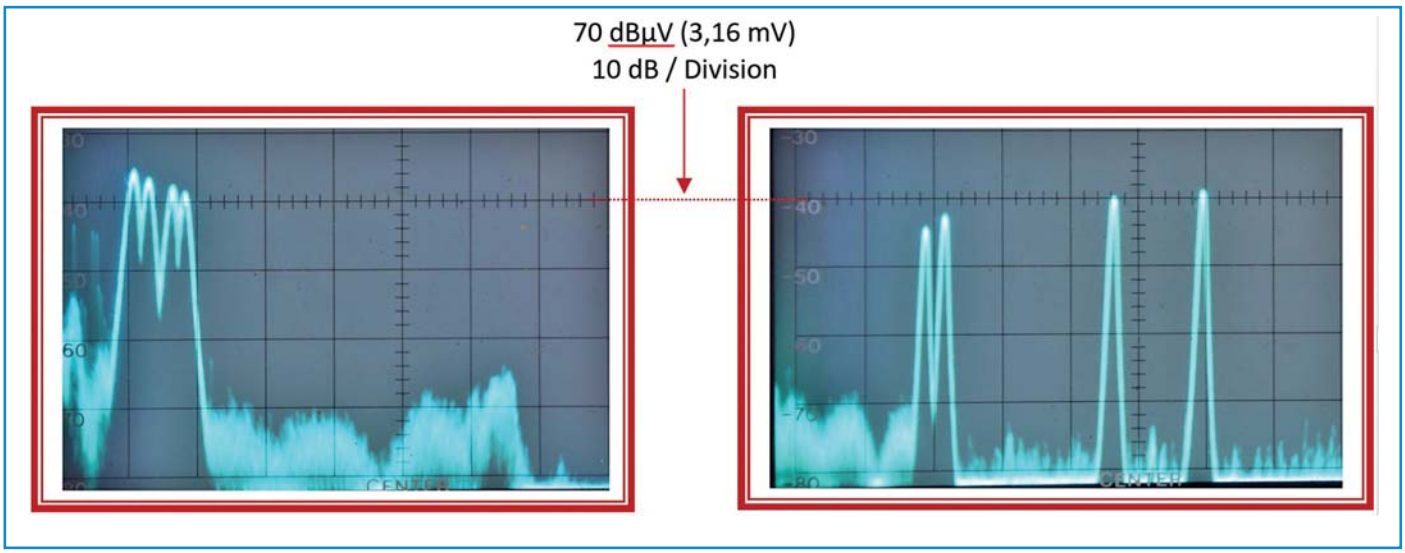


Figure 10 : sur le cliché de gauche, le spectre de la sortie directe GO (4 porteuses) et sur le cliché de droite le cliché du spectre de la sortie directe PO (4 porteuses), de la platine AM8.

Conclusion, toujours provisoire…

Cette session de mesures a permis de, quasiment, valider l'aspect matériel, à quelques détails près.

Une fois programmé, l'AM8 fonctionne tout seul sans l'assistance d'un ordinateur externe, ce qui constituait un pari pour l'équipe.

Prochaine étape : l'interface homme / machine (IHM). Claude est en charge de ce développement et devrait pouvoir nous présenter dans la prochaine édition de *Radiofil magazine* (n°118), une version bien avancée de ce logiciel destiné à ce que tout amateur, technicien ou pas, prenne en main et pilote l'AM8, en toute simplicité.

Nous avons toujours plaisir à répondre à vos questions et à écouter vos suggestions via l'intermédiaire du forum, dont le fil dédié à la catégorie « Modulateur AM8 » s'étoffe de jour en jour. Alors n'hésitez pas à participer !

POUR L'ÉQUIPE AM8,

■ **Daniel WERBROUCK** (RFL 008)

■ L'ÉQUIPE AM8 :

Eduard HONTELÉ (RFL 6308) : conception du matériel et du logiciel embarqué.

Claude TERRIER (RFL 26721) : conception / développement du logiciel IHM.

Jean-Michel BOURQUE (RFL 002) : candide, analyse critique de la pertinence des fonctionnalités et de l'ergonomie d'exploitation.

Laurent ROUFFIAC (RFL 7452) : conception du circuit imprimé de la platine du modulateur.

Daniel WERBROUCK (RFL 008) : coordination projet, mesures et tests des prototypes, rédaction de la notice d'utilisation, rédaction des articles de suivi du projet pour *Radiofil magazine*.

Crédit photos :

Cliché figure 1 : Eduard Hontelé
Clichés et dessins des figures 2 à 10 : Daniel Werbrouck.

Modulateur AM8 : résumé des épisodes précédents…

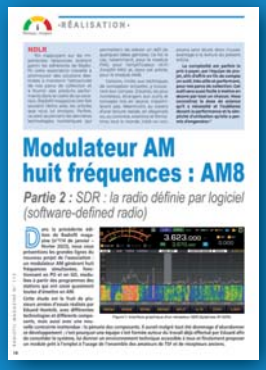
Ce projet a été initié, suite au désarroi de l'équipe, devant la désertification des programmes radiodiffusés sur les petites et grandes ondes. Au départ, une réflexion un peu folle : « Si on imaginait un système qui permette d'écouter les stations disparues à l'endroit où elles étaient sur les cadrans de nos récepteurs, sans intervenir d'une quelconque façon dans les châssis TSF ? ».

Un groupe d'ingénieurs et techniciens s'est formé et Radiofil a donné son aval pour promouvoir le projet, puis assurer la fabrication et la distribution vers ses membres d'un ensemble prêt à fonctionner, au meilleur prix, si le succès espéré est avéré.

Radiofil magazine se fait l'écho, tous les deux mois, de l'avancée de l'étude. Pour les nouveaux entrants, nous vous présentons ci-après un résumé des principales étapes détaillées au sein des éditions précédentes :

ÉTUDE DE PROJET
Modulateur AM huit fréquences : AM8
Partie 1 : présentation du projet

☛ **Février 2023 – n°114. Partie 1** : présentation du concept AM8 et de l'organisation du projet. Description des principes envisagés pour la génération des porteuses et la modulation de celles-ci. Réflexion autour d'une interface homme / machine (IHM) autorisant une exploitation du modulateur par tous les amateurs, techniciens ou non.


RÉALISATION
Modulateur AM huit fréquences : AM8
Partie 2 : SDR : la radio définie par logiciel (software-defined radio)

☛ **Avril 2023 – n°115. Partie 2** : description détaillée du principe retenu pour générer les huit porteuses réparties sur les PO et GO : la radio définie par logiciel – SDR (software-defined radio). Présentation de l'étage de sortie HF générique de l'AM8 et du principe de couplage avec les entrées « Antenne » et « Terre » d'un récepteur TSF.

RÉALISATION
Modulateur AM huit fréquences : AM8
Partie 3 : les fonctionnalités retenues et les technologies choisies

☛ **Juin 2023 – n°116. Partie 3** : réalisation du prototype n°1 ayant permis de valider les technologies choisies. Compte-rendu des tests de qualification de cette maquette et d'évaluation des performances relevées en exploitation. Présentation du schéma synoptique de la plate-forme de l'AM8, explication de l'ensemble des blocs fonctionnels.

Énumération des objectifs des fonctionnalités de l'interface homme / machine, détail de chaque commande et visualisation au travers d'un écran unique représentant la synthèse de l'objectif suivi par l'équipe.

Vous pouvez intervenir pour réagir, apporter vos commentaires et suggestions en vous rendant sur la rubrique de notre forum dédiée à ce projet : **https://forum.retrotechnique.org/**. Une fois connecté, sélectionnez la catégorie « Modulateur AM8 ».

Niveau : moyen

Modulateur AM huit fréquences : AM8

Partie 5 : l'Interface Homme-Machine (IHM)

Maintenant que la partie purement matérielle a été décrite (Radiofil Magazine 116) et que les premiers tests sur prototype vous ont été présentés (Radiofil Magazine 117), nous allons pouvoir évoquer l'Interface Homme-Machine (IHM).

Une première ébauche avait été présentée dans la 3e partie de cette saga que nous vous invitons à (re)lire ; ceci vous permettra de mieux aborder ce qui suit.

Vous allez en effet vous rendre compte que nous avons procédé à quelques modifications qui, nous l'espérons, rendront l'utilisation de l'AM8 plus intuitive.

Ce que vous allez découvrir reste cependant un projet toujours en cours de développement et n'a donc aucun caractère définitif.

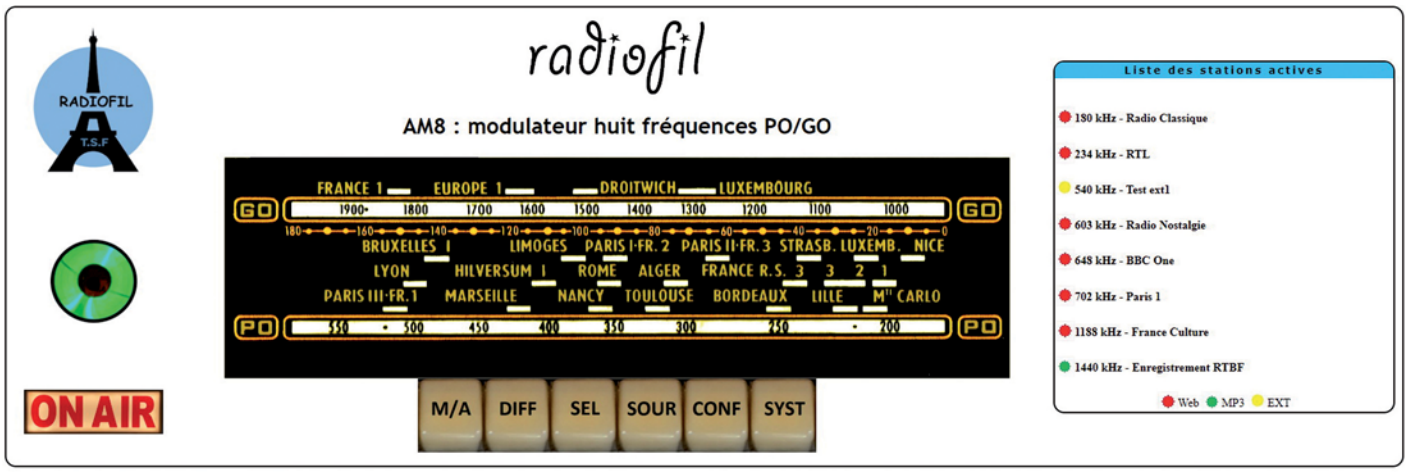


Figure d'introduction

Même s'il est tout à fait possible de faire fonctionner l'AM8 de façon quasi-autonome, il subsiste quelques opérations de base nécessitant une intervention humaine.

L'Interface Homme-Machine est là pour faciliter la tâche de tout utilisateur qui ne serait pas rompu aux techniques de gestion d'un mini-ordinateur de type Orange Pi Zéro 2 (OPZ2 pour les intimes – un cousin du Raspberry Pi).

Comme déjà exposé, l'accès à l'IHM se fait à partir d'un ordinateur (de bureau ou portable) qui sera relié à l'AM8 via le réseau local de l'utilisateur.

Après la mise sous tension du kit, l'écran d'accueil (figure 1) s'affiche sur l'ordinateur.

L'OPZ2 est opérationnel mais l'AM8 est considéré comme « éteint » : aucune émission n'est diffusée en direction des récepteurs TSF. Sur la partie droite de l'écran, nous pouvons voir la liste des stations (ou plus exactement des flux audio) qui seront disponibles sur les différentes fréquences mentionnées.

Une pression (clic souris) sur le bouton « M/A » a une fonction essentiellement cosmétique à ce stade : le cadran du récepteur AMPLIX s'allume et l'œil magique passe de l'état « ouvert et gris » à « ouvert et vert » (figure 2).

À ce stade, l'AM8 ne diffuse toujours aucune émission. Pour cela, il faut appuyer sur « DIFF » (pour « Diffusion ») : l'œil magique passe alors à « fermé et vert » et l'indicateur « ON AIR » s'illumine (figure 3).

Après une trentaine de secondes (délai pour que l'OPZ2

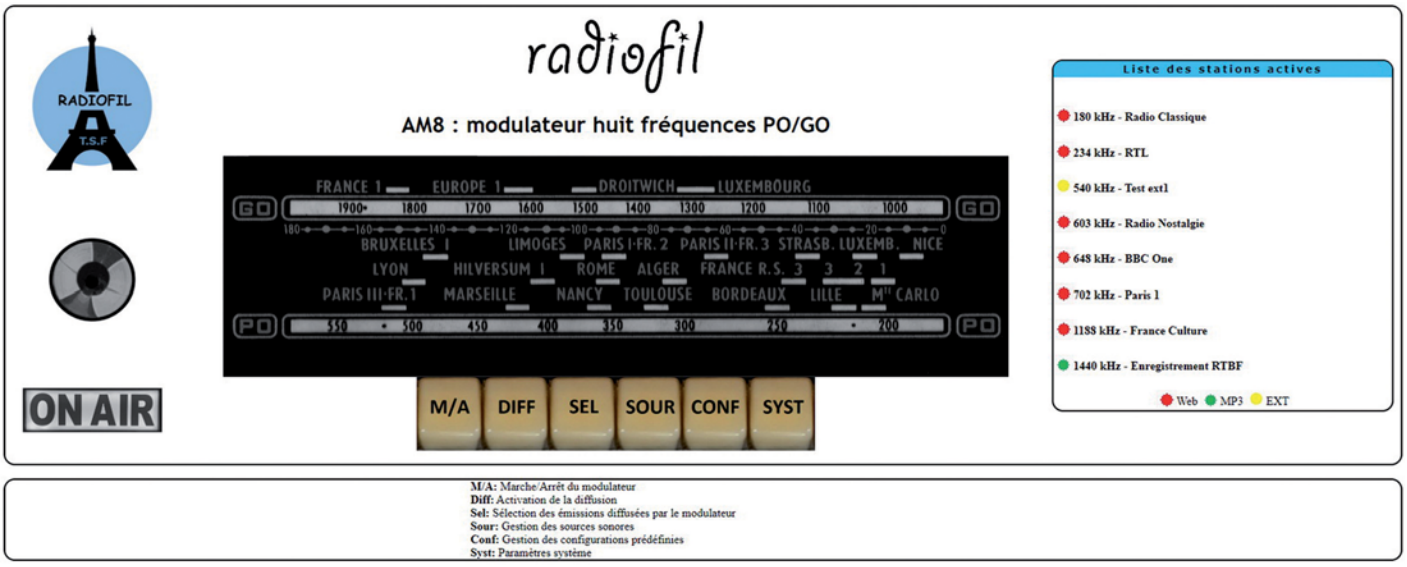


Figure 1

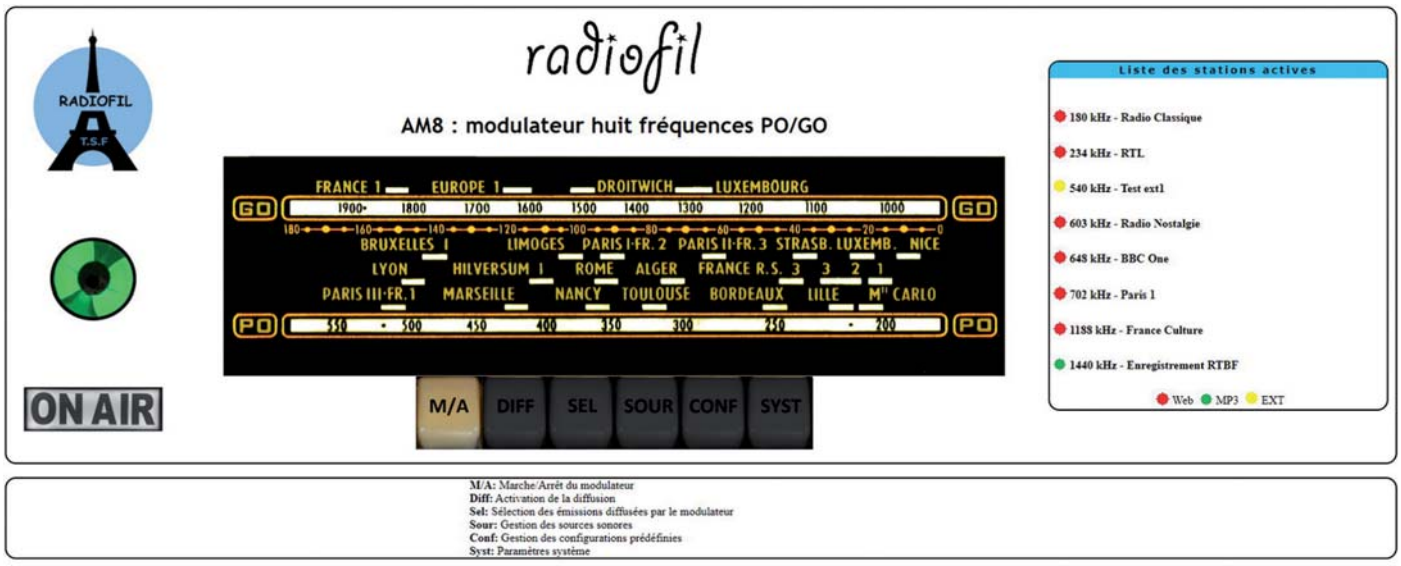


Figure 2

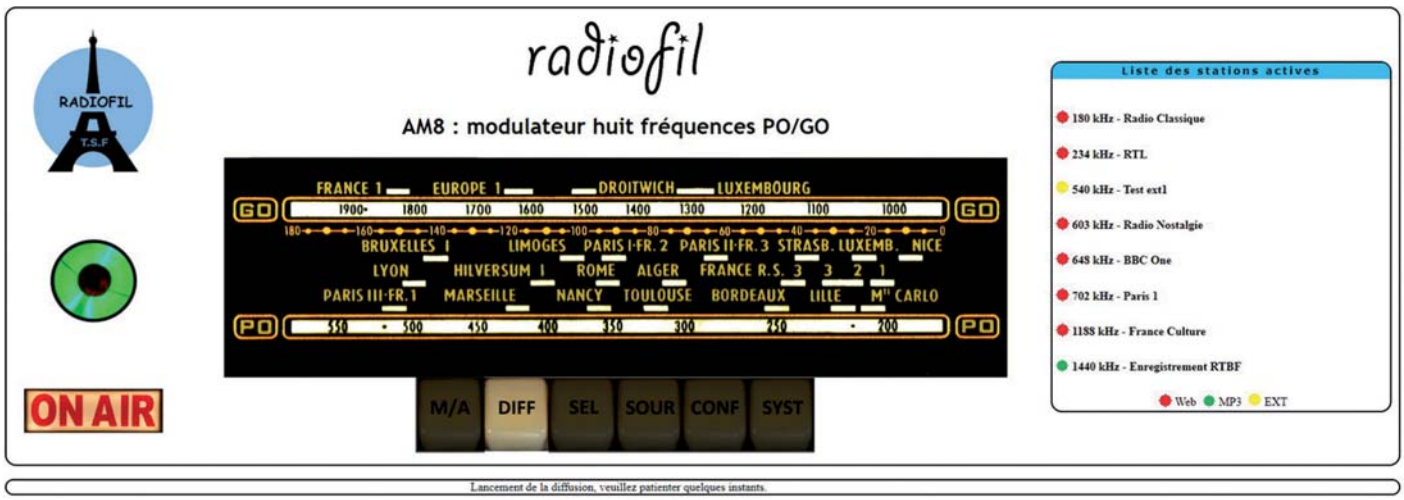


Figure 3

collecte les flux audio et les redirige vers la sortie de l'AM8) et si votre récepteur est réglé sur l'une des fréquences listées, vous entendrez alors l'émission correspondante.

À partir de cet instant, tous les flux sont disponibles à l'écoute en continu. Vous pouvez passer d'une station à l'autre en changeant la fréquence sur votre poste TSF.

Une fois en mode diffusion, vous pouvez quitter l'IHM et même éteindre votre ordinateur : l'AM8 fonctionne en mode autonome.

Figure 4

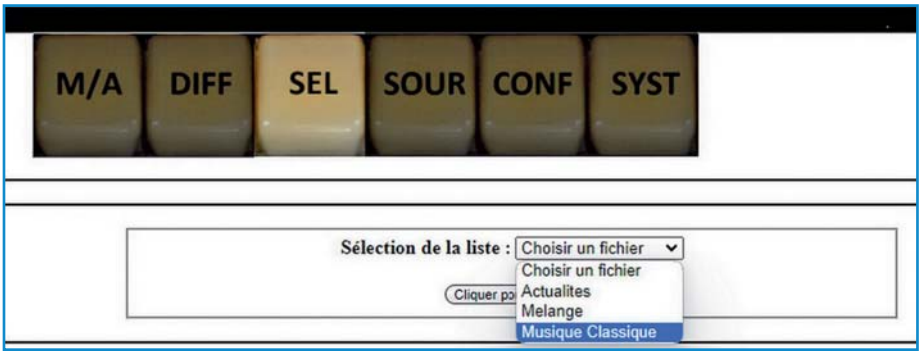


Figure 5

Figure 6

Pour éteindre l'AM8, il faut se (re)connecter à l'IHM et appuyer de nouveau sur le bouton « M/A ». Cela a pour effet de stopper les émissions et d'éteindre « proprement » l'OPZ2. Il est en effet très fortement déconseillé d'arrêter l'AM8 (et donc l'OPZ2) en coupant directement son alimentation électrique.

Passons maintenant à la gestion plus fine de l'AM8.

Si l'utilisateur souhaite modifier les stations diffusées par l'AM8, il devra alors sélectionner une nouvelle liste de stations parmi celles qui sont déclarées ; ce qui est justement le rôle du bouton « SEL » (pour « Sélection ») (figure 4).

Sur cet écran, un menu déroulant permet de choisir une liste de stations parmi celles déclarées (figure 5).

Une fois le choix effectué, les stations de la liste retenue (ici « Musique Classique ») sont mentionnées avec les fréquences de diffusion (figure 6).

Pour le moment, l'utilisateur n'a fait que pré-sélectionner une liste de stations et vérifié son contenu ; mais aucun changement n'a encore été validé : la liste des stations dites actives reste la même, comme l'indique le cadre situé à droite de l'écran.

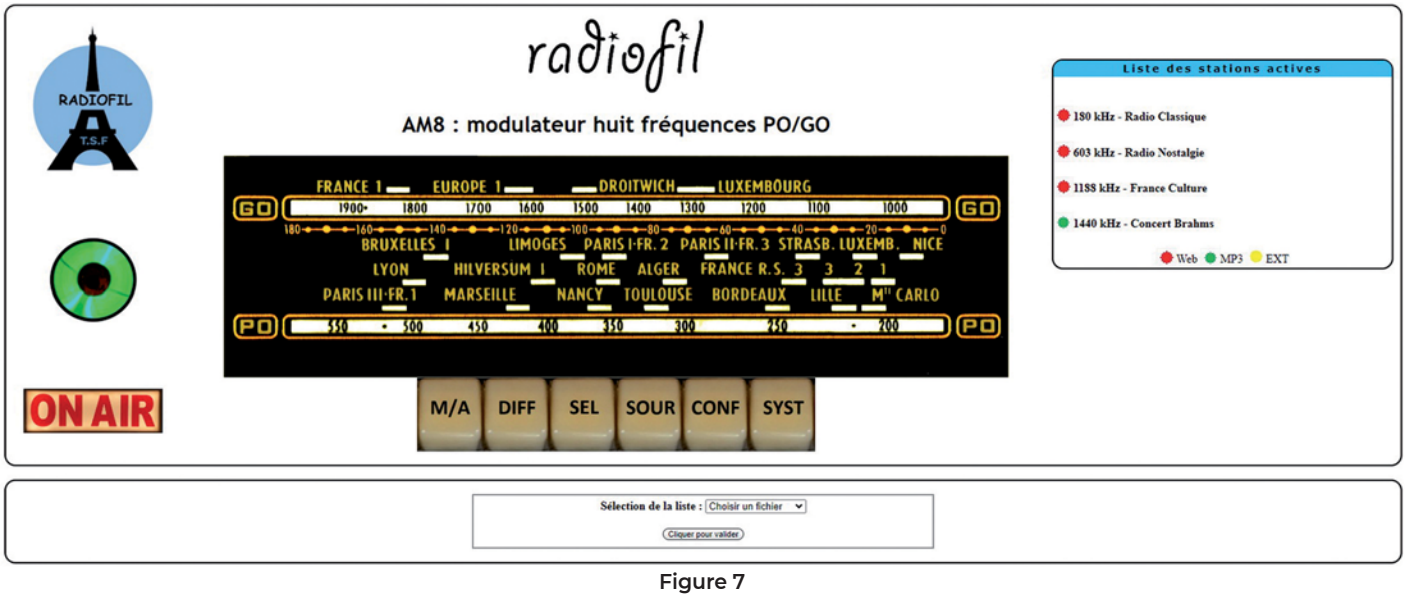


Figure 7

La prise en compte n'est effective qu'après la validation finale (figure 7) : les stations actives ont bien été modifiées en fonction du choix de l'utilisateur. La diffusion des nouvelles stations est quasi-immédiate (après une trentaine de secondes, comme lors du lancement de l'AM8).

On notera qu'une liste ne contient pas forcément 8 stations : certains canaux peuvent très bien rester libres. De même, l'utilisateur peut décider de « boucher les trous » en utilisant plusieurs fois la même source associée à des fréquences différentes.

Le kit AM8 sera livré avec des stations et des configurations pré-définies ; il sera ainsi livré prêt à l'emploi. Il sera bien entendu possible de modifier ces contenus en fonction des préférences de chacun. C'est ce que nous allons maintenant découvrir avec les boutons « SOUR » (pour « Source ») et « CONF » (pour « Configuration »).

Précisons que la notion de « Station » est à prendre au sens large puisque cela peut être un flux audio venant de l'internet ou bien un fichier audio (MP3) présent sur le disque de l'OPZ2 ou même un flux audio externe. C'est pour cela que nous avons retenu le terme générique de « Source » pour désigner une station.

Le bouton « SOUR » permet d'accéder au panneau de gestion de ces sources (figure 8).

L'utilisateur peut ici déclarer une nouvelle source audio en indiquant son nom (rédaction libre), son type (Web, MP3 ou EXT – menu déroulant) et son emplacement (figure 9).

Le terme « emplacement » est lui aussi générique et désigne où l'AM8 doit aller chercher le flux. Cela peut donc être sur l'internet (une adresse URL), sur le disque local de l'OPZ2 (le nom d'un fichier MP3) ou la ligne « source externe » de l'AM8 (entrée audio analogique sur le circuit).

Figure 8

Figure 9

Figure 10

Figure 11

Une fois toutes les informations fournies, l'utilisateur peut sauvegarder cette nouvelle « station » (figure 10).

Tout au long du processus, des contrôles sont prévus, notamment l'absence de saisie d'information.

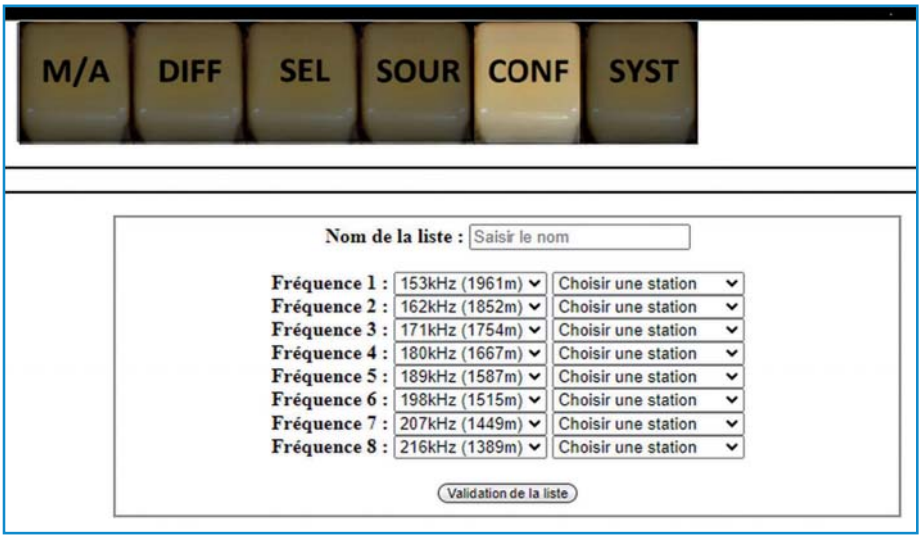


Figure 12

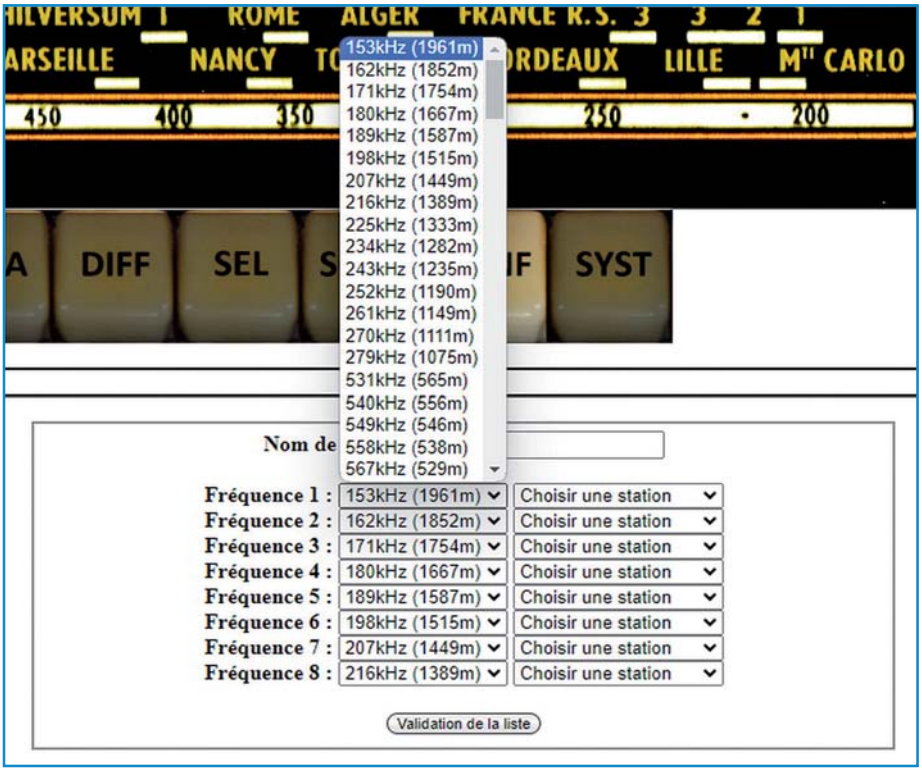


Figure 13

Figure 14

La figure 11 montre le cas où l'utilisateur a tenté de valider sa saisie alors qu'il n'a pas fourni l'emplacement du flux audio.

La version définitive de l'IHM permettra bien entendu de modifier ou même supprimer une station déjà déclarée.

Avec des stations à disposition, nous pouvons maintenant constituer des listes ou « Configurations » via le bouton « CONF » (figure 12).

Après avoir saisi le nom de la liste, l'utilisateur est invité à en indiquer son contenu.

Par défaut, l'IHM vous propose une liste vide avec les fréquences attribuées dans l'ordre du tableau officiel des canaux internationaux de radiodiffusion.

Pour chaque canal de l'AM8, Il est bien entendu possible de modifier la fréquence de diffusion : un menu déroulant propose toutes les fréquences disponibles (figure 13) .

L'utilisateur indique ensuite la station associée en la sélectionnant dans la liste des sources connues de l'AM8 (cf. bouton « SOUR ») (figure 14).

Rappel : une liste peut contenir moins de 8 flux à diffuser (figure 15).

Une fois la liste constituée, il suffit de cliquer sur « validation de la liste » pour la sauvegarder.

La version définitive de l'IHM permettra bien entendu de modifier ou même supprimer une configuration déjà déclarée.

Vous aurez noté qu'il est possible de gérer les stations (« SOUR ») et les configurations (« CONF ») alors que l'AM8 est actif. En effet, seuls les boutons « M/A », « DIFF » et « SEL » ont une action directe sur le comportement de l'AM8.

Nous arrivons maintenant au dernier bouton du cadran : « SYST » (pour « Système »).

Le projet AM8 est sujet à évolution. Le logiciel et même l'IHM vont certainement subir des modifications, ne serait-ce que parce qu'un produit informatique n'est jamais exempt de défauts lors de sa livraison !

Il nous a paru important de prévoir dès le début un système de mises à jour à distance pour l'utilisateur final, à l'image de ce qui se fait avec les produits grand public. Votre AM8 sera donc capable d'aller chercher sur le serveur Radiofil les nouvelles versions du logiciel AM8 et/ou de l'IHM.

Il restera malgré tout un élément qui ne sera pas modifiable à distance : le micro-logiciel embarqué sur le module RPI Pico qui sera considéré comme finalisé au moment de la commercialisation du kit AM8.

L'écran « Système » permet de vérifier que votre AM8 est à jour (figure 16).

Cette vérification portera sur les éléments suivants :

- ☛ logiciel AM8 (hors micro-logiciel du RPI Pico) ;
- ☛ IHM ;
- ☛ fichiers système OPZ2.

Sauf avis contraire, ces mises à jour n'auront aucun caractère obligatoire et leur mise à disposition sera annoncée sur le forum Retrotechnique et par un encart dans la revue Radiofil.

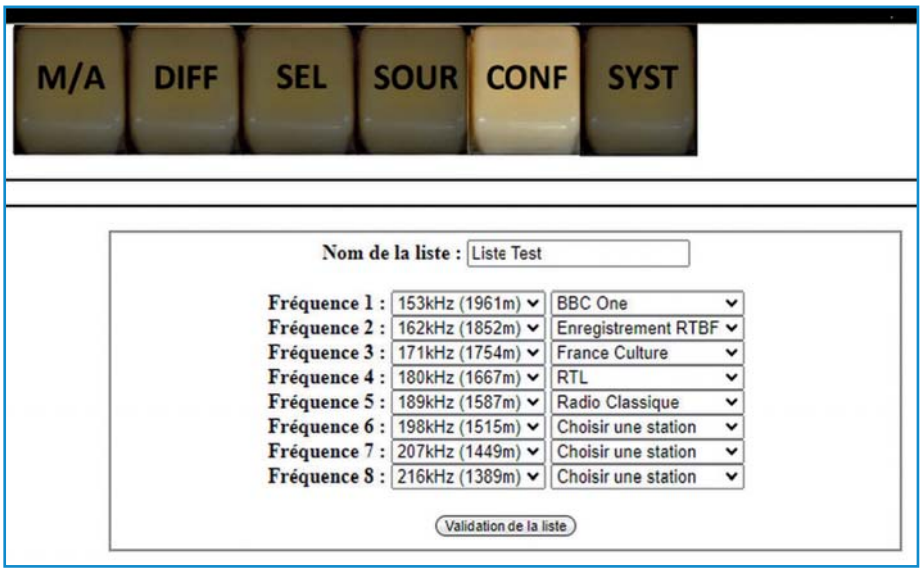


Figure 15

Figure 16

Conclusion,
en attendant le prochain numéro !

Cet article nous a permis de vous présenter l'IHM telle qu'elle existe actuellement. Nous espérons que cela vous aura aidé à mieux comprendre ce qu'il vous sera possible de faire avec l'AM8.

Certaines fonctionnalités vont encore sans doute évoluer, en fonction des contraintes techniques et/ou logicielles que nous rencontrerons lors de la finalisation du développement.

N'oubliez pas que vous pouvez intervenir pour réagir, apporter vos commentaires et suggestions en vous rendant sur la rubrique de notre forum dédiée à ce projet : https://forum.retrotechnique.org.

Une fois connecté, sélectionnez la catégorie « Modulateur AM8 ».

POUR L'ÉQUIPE AM8,
Claude TERRIER (RFL 26721)

L'ÉQUIPE AM8 :

Eduard HONTELÉ (RFL 6308) : conception du matériel et du logiciel embarqué.

Claude TERRIER (RFL 26721) : conception / développement du logiciel IHM.

Jean-Michel BOURQUE (RFL 002) : candide, analyse critique de la pertinence des fonctionnalités et de l'ergonomie d'exploitation.

Laurent ROUFFIAC (RFL 7452) : conception du circuit imprimé de la platine du modulateur.

Daniel WERBROUCK (RFL 008) : coordination projet, mesures et tests des prototypes, rédaction de la notice d'utilisation, rédaction des articles de suivi du projet pour *Radiofil magazine*.

Crédit photos : Claude Terrier