

# CONCEPTION ET REALISATION D'UN OUTIL DE TEST DE PLOTS ADSL



FRANCE TELECOM  
GILM Alsace Sud  
2 rue J-J. Henner  
68100 Mulhouse



IUT de Mulhouse  
Département GEII  
61 rue Albert Camus  
68100 Mulhouse

## Remerciements

Au terme de ces deux années, je tiens à remercier France Telecom de m'avoir fait confiance et donné la possibilité d'effectuer ma formation au sein de l'équipe du GILM Alsace Sud. Je remercie mon maître d'apprentissage, M. Jean-Marie Nuss pour son soutien tout au long de ces deux années, ainsi que toute l'équipe qui m'a permis de connaître des domaines d'activités diversifiés et de faire le lien entre la formation théorique et la réalité du terrain, tout particulièrement MM. Laurent Ethuin, Francis Muller et Denis Munch. Leur compétence, leur pédagogie, leur patience et leur sympathie m'ont encouragé et conforté dans mon choix professionnel.

Merci également à l'ensemble de l'équipe pédagogique du département Génie Electrique et Informatique Industrielle de l'IUT de Mulhouse pour son accompagnement et la qualité de l'enseignement dispensé.

## Sommaire

<b>I. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE.....</b>	<b>4</b>
1. Histoire de France Telecom.....	5
1) Les origines de France Telecom.....	5
2) Des techniques et des hommes.....	5
3) Une soif d'innovation.....	6
4) Aujourd'hui et demain.....	6
5) Les grandes dates.....	7
2. France Telecom en quelques chiffres.....	7
3. Le Groupe d'Intervention Local Multi-techniques Alsace Sud.....	8
<b>II. COMPTE RENDU D'ACTIVITES PROFESSIONNELLES.....</b>	<b>9</b>
<b>III. ETUDE TECHNIQUE : Conception et réalisation d'un outil de test de plots ADSL.....</b>	<b>12</b>
Introduction.....	13
a) Origine du projet.....	13
b) Cahier des charges.....	13
c) Etapes du projet.....	14
1. Présentation succincte de l'ADSL.....	15
2. Les lignes d'affaiblissement artificielles.....	18
A) Etude théorique.....	18
a) Modélisation d'une ligne de transmission.....	18
b) Calcul du coefficient de propagation.....	18
c) Calcul de l'impédance caractéristique d'une ligne.....	19
d) Données linéiques constructeur.....	20
B) Application.....	21
a) Calcul de l'impédance caractéristique d'une ligne à 300kHz.....	21
b) Calcul des impédances d'une ligne d'affaiblissement .....	23
c) Application numérique.....	27
3. Conception et réalisation.....	29
A) Matériel.....	29
1) Descriptif de l'outil de test.....	29
2) Conception du matériel.....	30
B) Logiciel.....	35
1) Conception initiale du programme – Description.....	35
2) Mise en forme du code.....	35
3) Débogage du programme.....	36
4. Les tests – <b>diffusion interdite pour raison de secret professionnel</b> .....	51
5. Coût du matériel.....	55
Conclusion.....	58
<b>IV. ANNEXES</b>	

# I. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

## 1. Histoire de France Telecom

### 1) Les origines de France Telecom

Avec le réseau de Chappe se met en place au 19<sup>e</sup> siècle non seulement un réseau organisé et hiérarchisé de télécommunications, mais aussi une administration. Une loi instaure, en 1837, le monopole d'État sur le réseau de télégraphie optique qui servira de base à l'élaboration du statut juridique des systèmes de communications futures. Dans un premier temps, les services de télécommunications sont rattachés au ministère de l'Intérieur.

A partir de 1878, avec la création d'un ministère des Postes et Télégraphes, l'administration des télégraphes est absorbée par les services postaux. Jusqu'au début des années 1970, les services de télécommunications n'ont qu'une importance relative au sein de l'organisation globale de l'administration.

Lorsque le téléphone apparaît, en France, en 1878, il est concédé à une société privée. En 1889, le téléphone est nationalisé, mais est rattaché au télégraphe, au sein du "service du matériel et de l'exploitation électrique". Ce n'est qu'en 1909 que sont créées deux directions recouvrant clairement les activités de télécommunications : une direction de l'exploitation télégraphique et une direction de l'exploitation téléphonique.

Il faut attendre la seconde guerre mondiale pour que les Pouvoirs Publics prennent conscience de l'importance de la recherche et du développement en télécommunications. En 1941, la Direction des Télécommunications est créée au sein du ministère des PTT, ce dernier ayant gagné son deuxième T pour "téléphone" en 1923. Le Centre National d'Études des Télécommunications (CNET) voit le jour en 1944. On assiste, ainsi, à la reconnaissance de la spécificité des services de télécommunications, même s'ils restent sous l'emprise des services postaux.

Dans les années 1970, face à une demande en équipements téléphoniques de plus en plus croissante un réaménagement des structures est mis en place. Le rôle de la Direction Générale des Télécommunications (DGT) est affirmé et un service du personnel distinct de celui de la Poste reconnaît la spécificité des métiers et des carrières aux Télécommunications. L'autonomie des Télécommunications s'amorce. En 1988, la DGT prend le nom de France Telecom. Mais ce n'est que le 1er janvier 1991 que France Telecom devient exploitant autonome de droit public.

### 2) Des techniques et des hommes

Si France Telecom est née officiellement le 1er janvier 1991, son histoire remonte à plus de deux siècles. Le réseau Chappe donne naissance à un corps de "télégraphiers" qui s'empare rapidement d'un esprit de service public.

La spécificité de France Telecom se comprend par l'ensemble de "savoir faire" qui la compose. L'apparition du téléphone et de la télégraphie sans fil donne naissance à des réseaux de communication qui vont couvrir progressivement l'ensemble de la planète.

Ces techniques et ces réseaux font naître de nouvelles compétences et de nouveaux métiers qui supposent une constante adaptation aux différentes innovations. Les "demoiselles du téléphone" sont confrontées à partir des années 1920 à l'automatisation des centraux téléphoniques. De nouveaux métiers de plus en plus techniques émergent, comme les régleurs, les "lignards" ou encore les hommes de la radio et des ondes.

Puis c'est l'électronisation du réseau qui bouleverse une fois de plus les métiers des Télécoms. A tous niveaux, un intense effort de formation est développé. Le changement de numérotation, le 25 octobre 1985 démontre une forte mobilisation de tous et un nouveau défi relevé.

Depuis peu, la déréglementation née outre-Atlantique et l'essor continu de nouveaux produits et services comme le Minitel, les mobiles ou l'Internet font émerger une nouvelle dimension, celle du commercial.

### 3) Une soif d'innovation

Dans les années 1980, les Télécoms disposent d'un réseau bien implanté et techniquement performant. Ils amorcent une phase de développement et veulent proposer autour du téléphone une gamme étendue de produits et de services nouveaux.

De la télématique au câble, en passant par les satellites, toutes les voies de communication sont explorées. En 1978, les Télécoms profitent de leur maîtrise des techniques de transmission numérique et ouvrent Transpac, le premier réseau de transmission de données par paquets.

De la convergence des télécommunications et de l'informatique, ils se lancent dans l'aventure de la télématique et proposent en 1983 le Minitel. Les efforts se tournent aussi vers deux nouveaux secteurs de pointes. En 1981, à Biarritz la fibre optique est expérimentée comme support de transmission. En 1984, fort de la réussite de Pleumeur Bodou, le premier satellite de télécommunications français Telecom 1A est lancé.

Les débuts de la radio-télécommunication s'effectuent, en 1986, avec l'ouverture du service "Radiocom 2000" qui permet de communiquer avec des correspondants en voiture. Et en 1991 l'ouverture du réseau expérimental GSM va permettre le développement du téléphone mobile numérique européen, Orange.

### 4) Aujourd'hui et demain

A l'aube du XXIème siècle, les télécommunications confirment leur lien avec le monde informatique entamé dans les années 1970 et commencent leur rapprochement avec le secteur audiovisuel pour donner naissance à la société multimédia.

Du câble au satellite en passant par la diffusion hertzienne terrestre, France Telecom s'est déjà positionnée comme un partenaire essentiel du système audiovisuel français. Aujourd'hui, elle entend élargir ses activités et devenir progressivement un opérateur global. France Telecom se dote ainsi d'une gamme complète de prestations dans l'audiovisuel et le multimédia, en

offrant de nouveaux produits et services tels que la visioconférence, le réseau Numéris ou encore son offre d'accès à Internet, Wanadoo. Enrichir et développer des services qui fassent converger le transport d'information, son contenu et son traitement devient le principal objectif.

Préparer l'avenir, c'est aussi communiquer à l'échelle du monde. Dans cette perspective, en 2000, France Telecom est devenue l'actionnaire unique de Global One, opérateur mondial pour les grandes entreprises, et a acquis l'opérateur mobile britannique Orange, pour constituer le deuxième réseau mobile européen.

## 5) Les grandes dates

1878 : création d'un ministère des Postes et Télégraphes.

1970 : le VI<sup>e</sup> Plan met en avant le rôle des Télécommunications dans la vie économique française.

1974 : la Direction générale des postes et des Télécommunications devient le premier investisseur public et un an plus tard, le Plan de rattrapage du téléphone est adopté.

1988 : création de France Telecom.

1991 : France Telecom devient exploitant autonome de droit public.

1996 : France Telecom devient Société Anonyme.

1997 : France Telecom ouvre son capital et devient coté sur les marchés boursiers de Paris et New York.

2000 : France Telecom introduit sa filiale Internet, Wanadoo, à la Bourse de Paris et acquiert l'opérateur mobile britannique Orange. France Telecom devient le n° 2 européen dans ce secteur d'activité.

## 2. France Telecom en quelques chiffres

**Le groupe France Telecom**, c'est plus de 58 millions de clients pour la téléphonie mobile, dont 20,4 en France, c'est 50 millions de clients pour la téléphonie fixe, dont 34 en France, c'est 11 millions d'accès Internet, dont 4,7 en France et 0,9 million de clients pour les réseaux câblés. (Données au 31 mars 2004)

Le groupe France Telecom a réalisé pour le premier semestre 2004 un chiffre d'affaire de 23,2 milliards d'euros, et un résultat net d'1,1 milliard d'euros.

**France Telecom SA** est une filiale du groupe France Telecom. Elle est détenue à 54,5% par l'Etat français en date du 31 décembre 2003 et est cotée en bourse depuis le mois d'octobre 1997. Le chiffre d'affaires de FTSA s'élève à 10,8 milliards d'euros.

FTSA compte plus de 110000 salariés en activité, dont 95000 fonctionnaires et environ 3000 apprentis, contrats de qualification, vacataires ou étudiants stagiaires. On compte 7800 départs en 2003 pour 5650 embauches, dont 600 en CDI.

### 3. Le Groupe d'Intervention Local Multi-techniques Alsace Sud

L'**URR**, Unité Régionale des Réseaux, l'entité dans laquelle je travaille depuis le mois d'octobre 2002 a pour rôle de prévoir la planification et la programmation du réseau, d'assurer sa construction et son exploitation, d'organiser et de réaliser les interventions techniques, ainsi que d'assurer la supervision du réseau.

Le **Groupe d'Intervention Local Multi-techniques** Alsace Sud, le service dans lequel je suis employé, est basé à Mulhouse. Sa zone d'intervention couvre le Haut-Rhin ainsi qu'une partie du Bas-Rhin. Il est composé de 24 techniciens et de deux cadres. La mission principale du GILM est d'assurer les activités de production et de maintenance préventive et curative pour les équipements du réseau (commutation de 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> génération, péricommutation (robots de test), transmission : vidéo, hertzienne, SDH\* et PDH\*, ATM\*, ADSL\*, équipements d'énergie et de climatisation, pressurisation des câbles, groupes électrogènes, GSM\* : équipements du réseau Orange et ses antennes, et maintenant UMTS\*, etc...) en veillant à la continuité du service et à la qualité offerte aux clients, conformément aux règles de l'assurance qualité.

\* La signification des termes ou abréviations accompagnés d'un astérisque se trouve en annexes, dans le Glossaire.

## II. COMPTE RENDU D'ACTIVITES PROFESSIONNELLES

Dans le cadre de mon apprentissage au sein du GILM, je suis placé sous la responsabilité de l'adjoint du chef de groupe. C'est avec quelques techniciens que j'ai fait équipe pour assurer les dérangements, les mises en service de nouveaux matériels et les activités de maintenance préventive et curative des différents réseaux de France Telecom.

Voici la liste des tâches que j'ai effectuées au cours de mes deux années de formation au GILM Alsace Sud.

#### Découverte des réseaux de France Telecom :

- Réseau téléphonique commuté
- Réseau GSM
- Réseau IP\*, ADSL
- Boucle Locale Radio
- Liaisons Louées Professionnelles

#### Découverte des équipements mis en œuvre dans ces réseaux :

- Autocommutateurs, Unités de Raccordements d'Abonnés (URA), répartiteurs
- Equipements GSM
- DSLAM, brasseur ATM
- Faisceaux Hertzien
- Energie : Groupes électrogènes, redresseurs, batteries...
- Robots de tests d'équipements téléphoniques

#### Utilisation de logiciels spécifiques :

- Gestion des Ordres de Travail (OT) : Gesica.
- Affectations des OT aux techniciens : Gesigil.
- Logiciels de Relation Homme-Machine (RHM) pour les opérations sur les autocommutateurs et les URA, les équipements GSM... : ClécSE, BTS Terminal B7, MediacomB3, Winfiol.
- Envoi de cartes ou équipements en réparation : 05R, Appronet.
- Bases de données Commutation (données concernant les abonnés) et Transmission (données concernant la position des câbles, des connexions...): Weapon, WOG, Zacharie.
- Base de données Energie : Agora.

#### Manipulation des équipements :

##### **Commutation**

- Mouvements de cartes (ajout, retrait, remplacement) d'abonnés dans les Unités de Raccordement d'Abonnés, test des logiques et des robots de tests des URA.
- Mutation d'abonnés par logiciels de RHM, mise à jour de la base de données associée
- Sauvegarde des données des abonnés aux autocommutateurs et opérations de base (permutation de disques...).

##### **ADSL**

- Mise en service de DSLAM, mise en place de réglettes au répartiteur, mise en place de cartes (ADSL et SDSL) dans les châssis, remplacement de divers organes du DSLAM et opérations de base (ajout d'un câble de synchronisation entre un châssis maître et un châssis esclave...).

## **GSM**

- Mouvements d'émetteurs-récepteurs GSM et remplacement de divers organes de BTS (Base Transceiver Station : station de base d'émission-réception, équipement GSM associé à chaque antenne).
- Mesure de ROS sur des antennes GSM et de faisceau hertzien.

## **Transmission de données**

- Mise en service et mutation de Liaisons Louées Professionnelles 2Mb et 34Mb.
- Mise en service (ajout et configuration) d'un Multiplexeur d'Insertion Extraction (MIE) sur un anneau.

## **Energie**

- Mise en place de groupe électrogène pour alimenter un central et opérations de base (changement de batteries, de redresseurs).

## **Climatisation**

- Entretien de climatiseurs.

## Projets spécifiques :

### 1<sup>e</sup> année :

- Réalisation sous Excel d'une application de planification des tâches périodiques à réaliser sur chaque site dont le GIL Sud a la charge. L'application se compose d'une fiche par site (comportant les différentes tâches à réaliser, la fréquence à laquelle elles doivent l'être, et la date de réalisation ainsi que le nom du technicien auquel le site est affecté et un commentaire) et d'un tableau récapitulatif (synthétisant la liste des sites et la liste des tâches, et ayant un indicateur de priorité). C'est un outil de planification des tâches automatique, dont la réalisation a été valorisée par l'octroi d'une prime exceptionnelle. Cet outil de planification est maintenant utilisé au niveau national.

### 2<sup>e</sup> année :

- Réalisation du projet de fin de DUT. Conception et réalisation d'un outil de test de plots ADSL : Les cartes modem présentes dans les DSLAM se synchronisent avec les modems des abonnés jusqu'à un certain affaiblissement, qui est théoriquement de 60dB pour une connexion à 512kb et de 50dB pour une connexion à 1Mb, mais qui, dans la pratique, varie d'un équipement à l'autre. Mon projet simule donc une ligne d'abonné (à 300kHz) à affaiblissement variable, commandé par un microcontrôleur PIC. Ce matériel effectue une série de tests à différents affaiblissements, et affiche l'affaiblissement le plus important jusqu'auquel le modem testé dans le DSLAM se synchronise. Cela permet de désactiver et de ne pas réattribuer de mauvais plots.

### III. ETUDE TECHNIQUE :

## CONCEPTION ET REALISATION D'UN OUTIL DE TEST DE PLOTS ADSL

## INTRODUCTION

### a) Origine du projet

Le Groupe d'Intervention Local Multi-techniques Alsace Sud a pour mission, entre autres, de maintenir les équipements ADSL\*, et est en charge du test de ceux-ci lors de mises en service ou de dérangements, qui sont en nombre toujours croissant, en corrélation directe avec l'augmentation de la demande du grand public et des professionnels.

Ces tests, réalisés au niveau du répartiteur général, sont composés de deux parties essentielles :

- La vérification de la présence de synchronisation au niveau du répartiteur, entre un modem de type abonné et un équipement du DSLAM\* à tester, ce qui implique la présence d'alimentation, de tonalité, et de signal.
- La vérification de la connexion au FAI\*, de la vitesse de connexion (temps d'affichage de différentes pages de test, envoi de pièce jointe volumineuse, transfert FTP\* de fichiers de tests de 100ko, 1Mo et 10Mo) et de l'absence de déconnexion intempestive.

A l'issue de ces tests, si plusieurs équipements (modems au niveau du DSLAM) sur une même carte sont défectueux, le GILM procède à son remplacement dans les plus brefs délais. Mais attention, un paramètre n'a pas été pris en compte : l'abonné ne se situe pas forcément juste à côté du central téléphonique ! Ainsi, si un technicien a obtenu la synchronisation de son modem avec le DSLAM au niveau du répartiteur, il est possible qu'il ne l'aie pas à quelques dizaines de mètres du central. Et c'est bien là tout le problème : le technicien considère que le plot est bon au central, mais ne tient pas compte de l'affaiblissement introduit par la ligne qui va jusque chez l'abonné. Il est donc possible qu'un abonné situé loin du central ne puisse pas se synchroniser avec le DSLAM, alors qu'un test au répartiteur est réussi.

Bien que les cartes modems des DSLAM soient réalisées en grandes séries, et que les composants y soient à la même température, il existe de grandes disparités en matière de synchronisation et de connexion d'un équipement à l'autre sur une même carte.

C'est de cette constatation que je suis parti pour élaborer le sujet de mon projet de fin de DUT.

### b) Cahier des charges

Réaliser un outil permettant de tester les plots ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) signalés hors service en simulant une ligne téléphonique d'abonné et indiquer jusqu'à quel affaiblissement le modem de l'abonné se synchronise avec le DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer).

Le but de cette étude est donc de concevoir un appareil doté d'une ligne artificielle à affaiblissement variable qui teste la synchronisation entre un modem donné et l'équipement à tester pour différentes valeurs d'affaiblissement et de donner la valeur maximale, pour savoir si un plot ADSL peut être remis à la disposition d'un client.

### c) Les étapes du projet

Voici la manière dont j'ai procédé pour aboutir à la réalisation de mon projet.

#### **Démarche préliminaire :**

- Etude de la technologie ADSL et des équipements qui lui sont associés.
- Il faut simuler une ligne téléphonique d'abonné à affaiblissement variable. Pour ce faire, j'ai étudié les lignes de transmission et réalisé des lignes d'affaiblissement artificielles purement résistives, qui n'apportent aucun déphasage pour simuler une ligne d'abonné à une fréquence de 300Khz, valeur pour laquelle l'énergie est la plus importante dans le spectre ADSL.
- Je décide de réaliser ce projet à l'aide d'un microcontrôleur PIC, ce qui implique la réalisation d'un programmeur et de la maquette elle-même, ainsi que la conception d'un programme en langage C. J'utilise les connaissances acquises à l'IUT pour la réalisation du programme. Le PIC gèrera la commutation de relais activant ou non des cellules d'affaiblissement de différentes valeurs. La recherche de l'affaiblissement maximal jusqu'auquel le modem de test se synchronise est faite par dichotomie.
- Une phase de découverte et d'étude du microcontrôleur est nécessaire, depuis la manière de le programmer, jusqu'au montage qui l'entoure.

#### **Réalisation :**

- Réalisation des lignes d'affaiblissement
- Réalisation de la commande des relais par microcontrôleur, de l'arrivée du signal de synchronisation du modem au PIC, de l'alimentation du montage, et de l'affichage du résultat en façade.
- Réalisation du programme de test en langage C, et débogage.

#### **Essais :**

- Essais du matériel en conditions réelles sur des plots disponibles.
- Essais sur des équipements ADSL défectueux et compte-rendu au service « Pilotage des Activités Réseau » de Strasbourg pour la remise en service ou non des plots testés.

#### **Définition du coût de réalisation**

## 1. PRESENTATION SUCCINCTE DE L'ADSL

De manière à concevoir mon projet, il était important de bien comprendre la technologie ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line). J'ai donc étudié le principe de cette technologie, et cette étude a fait l'objet de mon « petit rapport » en cours de deuxième année de DUT. Je me permets donc d'en reprendre les parties qui nous intéressent ici, de les préciser pour nous rapprocher du présent sujet : La conception et la création d'un outil de test de plots ADSL.

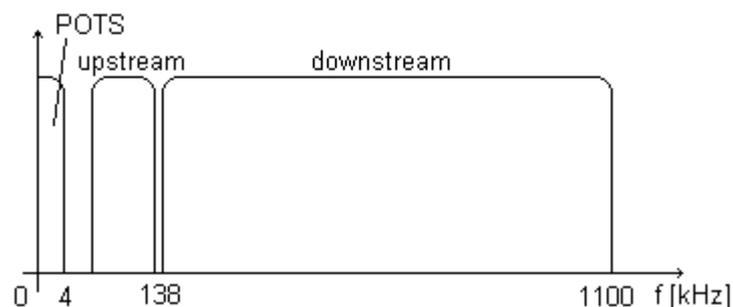
### A) Les différentes utilisations de la technologie ADSL

Accès rapide à Internet : chaque année, des millions de personnes s'abonnent à un service leur permettant de se connecter à Internet, cette augmentation atteint jusqu'à 40% de connections supplémentaires par mois. On obtient avec la technologie ADSL un débit jusqu'à 40 fois supérieur à celui d'un modem RTC\*.

Video-on-demand : Ce service permet au client de louer depuis chez lui le dernier film sorti, il lui suffit de sélectionner le film qu'il désire, et de le regarder, il peut faire une avance rapide, une pause, un retour en arrière...Ceci est possible du fait qu'un débit d'à peine plus d'un Mbit/s suffit pour transmettre du son et de l'image de bonne qualité grâce au codage Mpeg\*.

### B) L'intérêt de l'ADSL

L'intérêt de la technologie ADSL est qu'elle tire partie des bandes de fréquence non utilisées par le téléphone. Ainsi, alors que la voix est transportée sur une bande de fréquence allant de 300 à 3400Hz (rappelons que la bande de fréquence audible va de 20Hz à 20kHz), le signal ADSL est transmis sur les plages de fréquences hautes, inaudibles, de 25,875kHz à 1,104MHz. L'utilisation de cette bande très large permet de transporter des données à des débits pouvant atteindre 8Mbit/s au maximum en réception et 768Kbit/s en émission (d'où le A de ADSL qui signifie asymétrique). Point intéressant pour l'utilisateur, les signaux voix et ADSL utilisant des plages de fréquences différentes, la même ligne téléphonique permet de téléphoner et de surfer sur Internet à débit très rapide simultanément.



Bande passante utilisée par l'ADSL

## C) Les équipements

### a. Le Modem

Modem signifie Modulateur/Démodulateur

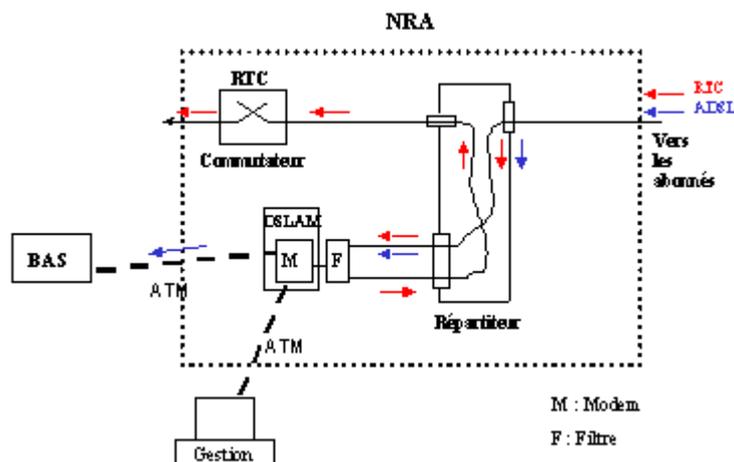
Il convertit les données venant de la ligne ADSL en données exploitables par le PC (Personal Computer) de l'abonné et inversement. Le modem doit toujours être placé derrière un filtre qui sépare la bande de fréquence utilisée par la téléphonie et celle utilisée pour la transmission de données ADSL.

### b. Le DSLAM

DSLAM signifie Digital Subscriber Line Access Multiplexer: Multiplexeur d'accès de lignes d'abonnés numériques

Le DSLAM est le premier élément de la chaîne réseau (il se trouve au central téléphonique) rencontré par le signal sortant du modem de l'abonné. Il est constitué de cartes-filtres, de cartes-modems, et de cartes-réseau. Chaque carte-filtre et carte-modem contient un nombre donné d'équipements correspondant à autant d'abonnés.

A la réception du signal provenant du client, le DSLAM va le filtrer. La partie « voix » est envoyée par la carte filtre vers le réseau téléphonique commuté, la partie ADSL vers la carte modem.



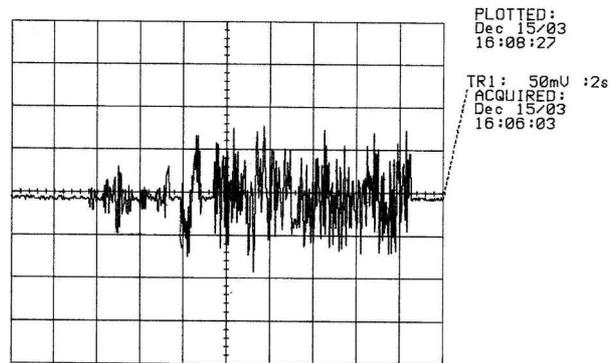
Principe du filtrage au niveau du DSLAM

Au niveau de la carte modem, la partie haute du spectre de fréquence est démodulée. On se retrouve à ce stade avec le signal ATM tel qu'il était avant d'être modulé en ADSL côté client. Cette carte est couramment appelée ATU-C (ADSL Transceiver Unit - Central office = unité d'émission-réception du côté du central) et présente beaucoup de similitudes avec l'ATU-R (modem côté abonné).

## D) La synchronisation

Pour pouvoir échanger des données, le modem de l'abonné doit se synchroniser avec le modem présent dans le DSLAM. Le DSLAM envoie une série de trames de

synchronisation, de durée fixe, et à intervalle de temps régulier, ce dernier paramètre varie d'un constructeur à l'autre.



Trame de synchronisation envoyée par le DSLAM au modem de l'abonné

Le signal ADSL entre le DSLAM et le modem de l'abonné est affaibli par la ligne qui les sépare. En effet, plus la ligne est longue, moins le signal sera puissant à l'arrivée : le modem aura donc plus de mal à se synchroniser avec le DSLAM. Dans mon étude, je m'emploierai à calculer les valeurs des composants qui permettent de simuler une telle ligne.

## 2. LES LIGNES D'AFFAIBLISSEMENT ARTIFICIELLES

Dans un premier temps, je présente la modélisation d'une ligne de transmission bifilaire torsadée qui est usuellement employée en téléphonie pour transmettre le signal de la voix et maintenant de l'ADSL. Je calculerai son coefficient de propagation, puis son impédance caractéristique. J'utiliserai ces résultats dans la partie *Application*.

Actuellement, les équipements ADSL doivent se synchroniser avec le modem de l'abonné au minimum jusqu'à un affaiblissement de 50dB pour une offre Net2 (1024kb/s) et de 60dB pour une offre Net1 (512kb/s). C'est à dire qu'un abonné dont la ligne introduit un affaiblissement de moins de 60dB jusqu'au DSLAM est assuré de pouvoir accéder à un débit de 512kb/s. A titre indicatif, 60dB correspondent environ à 4 à 5km, connections au central et chez l'abonné incluses.

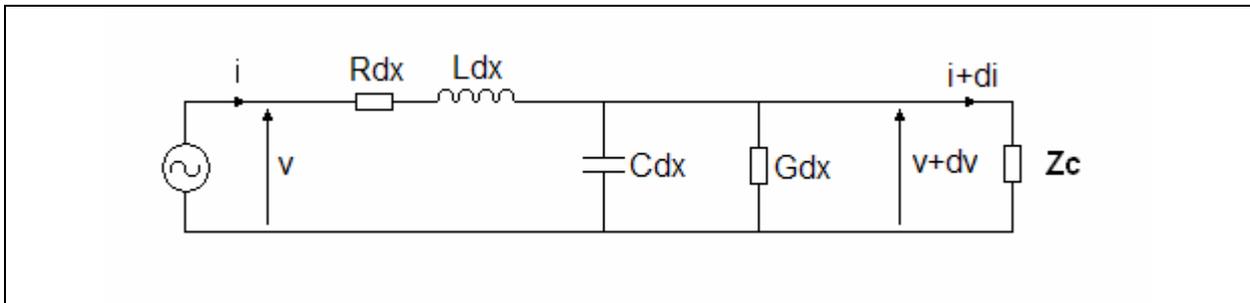
A l'avenir, d'ici à début 2005, de nouveaux équipements seront déployés côté DSLAM, qui permettront en théorie une synchronisation jusqu'à environ 80dB, ce qui rendra l'ADSL disponible jusqu'à plus de 6km.

Je décide donc de réaliser une série de 5 lignes d'affaiblissement dont la somme atteint 77dB. Les valeurs de ces lignes sont de 2, 5, 10, 20 et 40dB.

Comme nous ne souhaitons pas introduire de déphasage, mais uniquement une atténuation, les lignes réalisées seront composées uniquement d'impédance réelles. Nous utiliserons un modèle en H, obtenu à partir d'un modèle en T, pour simuler une ligne bifilaire torsadée, de manière à conserver la symétrie, caractéristique essentielle de cette ligne.

### A) Etude théorique

#### a) Modélisation d'une ligne de transmission



#### b) Calcul du coefficient de propagation

$R_{dx}$  est la résistance linéique, en  $\Omega \cdot m^{-1}$ ,  
 $L_{dx}$  est l'inductance linéique, en  $H \cdot m^{-1}$ ,  
 $C_{dx}$  est la capacité linéique, en  $F \cdot m^{-1}$ ,  
 $G_{dx}$  est la conductance linéique, en  $S \cdot m^{-1}$ .

Soient  $v$ , la tension, et  $i$ , l'intensité, les grandeurs observées dans ce calcul.

$$v + dv = v - (R \cdot dx \cdot i + jL\omega \cdot dx \cdot i)$$

$$dv = -(R + jL\omega)dx \cdot i$$

et

$$i + di = i - [(v + dv)(G \cdot dx + jC\omega \cdot dx)]$$

$$di = -(G + jC\omega)dx \cdot (v + dv), dv \rightarrow 0$$

Donc :

$$\begin{cases} dv = -(R + jL\omega)dx \cdot i \\ di = -(G + jC\omega)dx \cdot v \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{dv}{dx} = -(R + jL\omega) \cdot i \\ \frac{di}{dx} = -(G + jC\omega) \cdot v \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{d^2v}{dx^2} = -(R + jL\omega) \frac{di}{dx} \\ \frac{d^2i}{dx^2} = -(G + jC\omega) \frac{dv}{dx} \end{cases}$$

D'où :

$$\begin{cases} \frac{d^2v}{dx^2} = +(R + jL\omega)(G + jC\omega) \cdot v \\ \frac{d^2i}{dx^2} = +(R + jL\omega)(G + jC\omega) \cdot i \end{cases}$$

Posons  $\gamma = \sqrt{(R + jL\omega)(G + jC\omega)}$  et  $\gamma = \alpha + j\beta$ , avec  $\gamma$  le coefficient de propagation,  $\alpha$  l'affaiblissement linéique (en Np), et  $\beta$  le déphasage linéique (en rad.s<sup>-1</sup>).

On obtient donc :

$$(1) \begin{cases} \frac{d^2v}{dx^2} = \gamma^2 \cdot v \\ \frac{d^2i}{dx^2} = \gamma^2 \cdot i \end{cases}$$

C'est l'équation des télégraphistes, qui nous permettra plus tard de calculer les valeurs des composants nécessaires pour réaliser les lignes d'affaiblissement artificielles.

Les solutions de l'équation (1) sont :

$$\begin{cases} v(x,t) = V_0 \cdot e^{j\alpha x} \cdot e^{-\gamma x} + V'_0 \cdot e^{j\alpha x} \cdot e^{+\gamma x} \\ i(x,t) = I_0 \cdot e^{j\alpha x} \cdot e^{-\gamma x} + I'_0 \cdot e^{j\alpha x} \cdot e^{+\gamma x} \end{cases}$$

Remarque : nous sommes en présence d'une onde incidente et d'une onde réfléchie, dans le cas d'une ligne adaptée, il n'y a pas d'onde réfléchie, le second terme des deux équations précédentes est alors nul.

c) Calcul de l'impédance caractéristique d'une ligne

Calculons à présent l'impédance caractéristique d'une ligne de transmission. Rappelons que l'impédance caractéristique d'une ligne est l'impédance d'une ligne infiniment longue vue de l'entrée.

$$Z = \frac{v}{i}$$

Or :

$$v = V_0 \cdot e^{j\omega x} \cdot e^{-\gamma x}$$

Donc :

$$\frac{dv}{dx} = V_0 \cdot e^{j\omega x} (-\gamma) \cdot e^{-\gamma x} = -\gamma \cdot v$$

Et :

$$-\gamma \cdot v = -(R + jL\omega)i$$

D'où :

$$\frac{v}{i} = \frac{R + jL\omega}{\gamma} = \frac{R + jL\omega}{\sqrt{(R + jL\omega)(G + jC\omega)}}$$

Au final, on a :

$$\boxed{Z_c = \frac{v}{i} = \sqrt{\frac{R + jL\omega}{G + jC\omega}}}$$

L'impédance caractéristique d'une ligne est donc non seulement dépendante de ses caractéristiques physiques (résistance, inductance, capacité et conductance), mais également de la fréquence à laquelle elle est utilisée.

On appelle R, L, C et G les paramètres primaires de la ligne, et  $Z_c$  et  $\gamma$  ses paramètres secondaires.

d) Données linéiques constructeur pour une ligne bifilaire torsadée :

$$R_1 = 1,26 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{f}{\sigma}} \cdot \frac{1}{d \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}}$$

où  $R_1$  est exprimé en  $\Omega \cdot m^{-1}$ ,

$f$  est la fréquence de fonctionnement du système,

$\sigma$  est une constante de valeur  $5,65 \cdot 10^7$ ,

$d$  représente le diamètre d'un conducteur,

$D$  représente la distance entre les conducteurs, et vaut  $1,5d$ .

$$L_1 = 0,40 \cdot 10^{-6} \cdot \ln\left(\frac{2D}{d}\right) = 650 \mu H$$

où  $L_1$  est exprimé en  $H \cdot m^{-1}$ ,

$d$  représente le diamètre d'un conducteur,

$D$  représente la distance entre les conducteurs, et vaut  $1,5d$ .

$$G_1 = 0,175 \cdot 10^{-9} \cdot \epsilon_R \cdot \frac{f \cdot \tan \delta}{\ln\left(\frac{2D}{d}\right)}$$

où  $G_1$  est exprimé en  $S.m^{-1}$ ,

$\epsilon_R$  est la permittivité du diélectrique,

$f$  est la fréquence de fonctionnement du système,

$d$  représente le diamètre d'un conducteur,

$D$  représente la distance entre les conducteurs, et vaut  $1,5d$ .

$$C_1 = 28 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\epsilon_R}{\ln\left(\frac{2D}{d}\right)} = 50nF$$

où  $C_1$  est exprimé en  $F.m^{-1}$ ,

$\epsilon_R$  est la permittivité du diélectrique,

$d$  représente le diamètre d'un conducteur,

$D$  représente la distance entre les conducteurs, et vaut  $1,5d$ .

$$\alpha = 45,8 \cdot \sqrt{\frac{\epsilon_R}{\sigma}} \cdot \sqrt{f(MHz)} \cdot \left[ d \cdot \ln\left(\frac{2D}{d}\right) \right]$$

où  $\alpha$  est l'affaiblissement linéique exprimé en  $dB.m^{-1}$ ,

$\epsilon_R$  est la permittivité du diélectrique,

$\sigma$  est une constante de valeur  $5,65 \cdot 10^7$ ,

$f$  est la fréquence de fonctionnement du système, exprimée en MHz,

$d$  représente le diamètre d'un conducteur,

$D$  représente la distance entre les conducteurs, et vaut  $1,5d$ .

## B) Application

### a) Calcul de l'impédance caractéristique d'une ligne à 300 kHz

On calcule l'impédance caractéristique d'une ligne à 300 kHz, car cette fréquence est la moyenne géométrique du spectre ADSL :

Le spectre ADSL se situe entre 90kHz et 1,1 MHz, donc sa moyenne géométrique est :

$$f_M = \sqrt{f_1 \cdot f_2} = \sqrt{90 \cdot 10^3 \times 1,1 \cdot 10^6} \approx 300kHz$$

Reprenons le calcul effectué dans la partie théorique pour calculer l'impédance caractéristique et simplifions son expression :

$$Z_c = \frac{v}{i} = \sqrt{\frac{R + jL\omega}{G + jC\omega}} = \sqrt{\frac{(R + jL\omega)(G - jC\omega)}{(G + jC\omega)(G - jC\omega)}}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{RG - jRC\omega + jLG\omega + LC\omega^2}{G^2 - jGC\omega + jGC\omega + C^2\omega^2}}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{RG + j\omega(LG - RC) + LC\omega^2}{G^2 + C^2\omega^2}}$$

Dans la pratique, on néglige la conductance,  $RG \rightarrow 0$  et  $G^2 \rightarrow 0$  :

$$Z_c = \sqrt{\frac{j\omega(LG - RC) + LC\omega^2}{C^2\omega^2}}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{LC\omega^2}{C^2\omega^2} \cdot \left(1 + j\frac{G}{C\omega} - j\frac{R}{L\omega}\right)}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \sqrt{1 + j\frac{G}{C\omega} - j\frac{R}{L\omega}}$$

A 300kHz,  $C\omega \gg G$ , donc :

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \sqrt{1 - j\frac{R}{L\omega}}$$

Nous utiliserons dans cette étude le module de cette impédance :

$$|Z_c| = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \sqrt{\left|1 - j\frac{R}{L\omega}\right|}$$

Application numérique :

$$\diamond \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{650 \cdot 10^{-6}}{50 \cdot 10^{-9}}} = 114,02$$

$\diamond$  Calculons la valeur de R avec les données constructeur pour un câble 6/10 :

$$R = 1,26 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{300 \cdot 10^3}{5,65 \cdot 10^7}} \cdot \frac{1}{0,6 \cdot 10^{-3} \sqrt{1 - 0,99745}}$$

$$R = \frac{1,26 \cdot 10^5}{3,8849} \sqrt{\frac{3 \cdot 10^{-2}}{5,65}}$$

$$R = 994\Omega$$

$\diamond$  On pose  $\rho = \left|1 - j\frac{R}{L\omega}\right| = \sqrt{1 + \frac{R^2}{L^2\omega^2}}$

$$\rho = \sqrt{1 + \frac{988036}{(650 \cdot 10^{-6} \times 2\pi \times 3 \cdot 10^5)^2}}$$

$$\rho = 1,287$$

$$\sqrt{\rho} = 1,1348$$

$$\diamond |Z_c| = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \sqrt{\rho} = 114,02 \times 1,1348$$

$$|Z_c| = 129,37 \Omega$$

L'impédance d'une ligne bifilaire torsadée 6/10 à 30 kHz est donc de 129,37Ω.

b) Calcul des impédances d'une ligne d'affaiblissement

Pour ne pas introduire d'erreur, les cellules d'affaiblissement doivent présenter la même impédance que l'impédance caractéristique de la ligne. Ainsi, si on en place plusieurs en série, il suffit d'additionner les valeurs des différentes cellules pour avoir l'affaiblissement total de la ligne artificielle.

Ceci se démontre de la manière suivante :

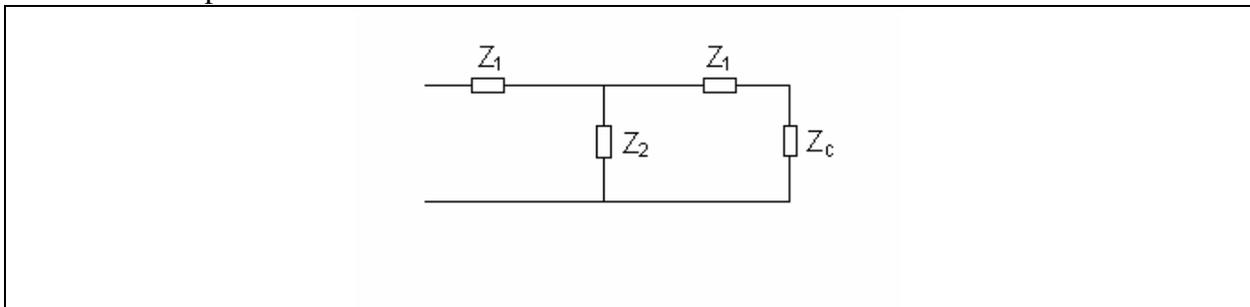
$$e^{\gamma = \frac{V_2}{V_1}} = e^{\gamma = \frac{V_2}{V_1} \cdot \frac{V_0}{V_0}} = e^{\gamma} = e^{\gamma_1 = \frac{V_2}{V_1}} \cdot e^{\gamma_2 = \frac{V_0}{V_0}}$$

$$\Rightarrow \gamma = \gamma_1 + \gamma_2$$

Dans notre cas, on n'introduit pas de déphasage,  $\gamma = \alpha$ , donc :

$$\Rightarrow \alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n, \alpha_x \text{ étant l'affaiblissement de chacune de mes cellules.}$$

Calcul des impédances d'une cellule en T :



$$Z_c = Z_1 + \frac{Z_2(Z_1 + Z_c)}{Z_1 + Z_2 + Z_c}$$

$$Z_c = \frac{Z_1(Z_1 + Z_2 + Z_c) + Z_2 Z_c + Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2 + Z_c}$$

$$Z_c = \frac{Z_1^2 + 2Z_1 Z_2 + Z_1 Z_c + Z_2 Z_c}{Z_1 + Z_2 + Z_c}$$

$$Z_c(Z_1 + Z_2 + Z_c) = Z_1(Z_1 + Z_2 + Z_c) + Z_2 Z_c + Z_1 Z_2$$

$$Z_c^2 = Z_1^2 + 2Z_1 Z_2$$

$$Z_C = \pm \sqrt{Z_1'^2 + 2Z_1'Z_2}$$

Nous ne considèrerons que des impédances positives pour cette étude.

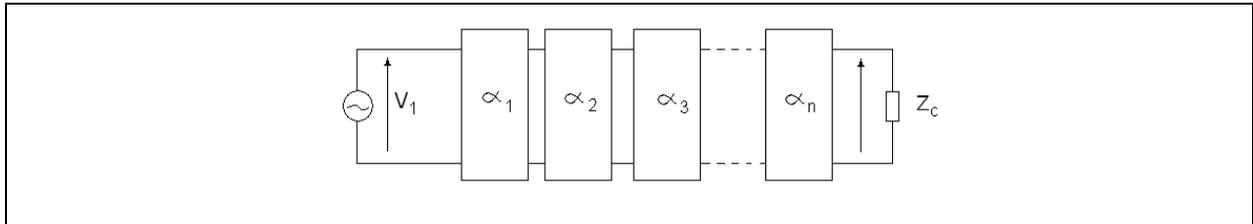
Si  $Z_{1r} = \frac{Z_1'}{2}$ , on a :

$$|Z_C| = \sqrt{\frac{Z_1'^2}{4} + Z_1'Z_2}$$

### Calcul des valeurs des composants de lignes d'affaiblissement artificielles

Calcul de  $Z_1$  et de  $Z_2$  en fonction de l'affaiblissement :

Voici l'allure de la ligne d'affaiblissement que je vais créer :



Comme vu plus haut,  $\bar{V}_1 = V_0 \cdot e^{j\alpha x} \cdot e^{-\alpha x} \cdot e^{j(\alpha x - \beta x)}$ , or, si  $\beta = 0$  :  $\bar{V}_1 = V_0 \cdot e^{j\alpha x} \cdot e^{-\alpha x}$

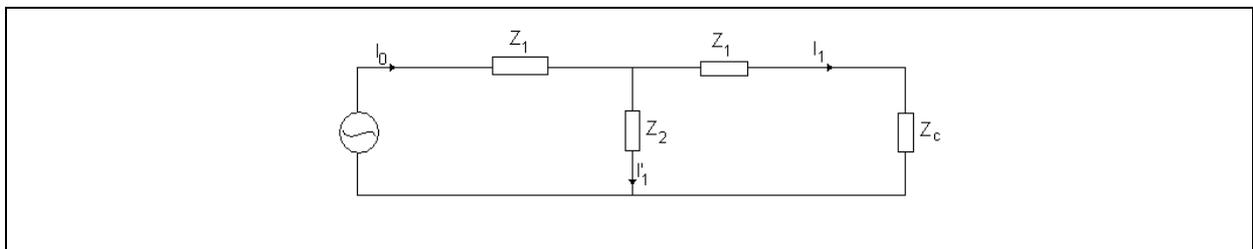
Dans le cas d'une ligne homogène,

$$\frac{V_1}{V_n} = e^{\alpha x}$$

D'où :

$$\alpha x = \ln \frac{V_1}{V_n} = \ln \frac{I_1}{I_n}$$

Calcul de I dans un circuit en T :



$$I_0 = I_1' + I_1 = I_1 + \frac{I_1(Z_1 + Z_C)}{Z_2} = I_1 \left( 1 + \frac{Z_1 + Z_C}{Z_2} \right)$$

Donc :

$$\frac{I_0}{I_n} = 1 + \frac{Z_1}{Z_2} + \frac{Z_c}{Z_2} = e^{\alpha x}$$

Je remplace maintenant  $Z_c$  par sa valeur, on obtient :

$$e^{\alpha x} = 1 + \frac{Z_1}{Z_2} + \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2} \left(1 + \frac{Z_1}{4Z_2}\right)}$$

Pour plus de commodité, posons  $x = 1 + \frac{Z_1}{2Z_2}$  :

$$\Rightarrow \frac{Z_1}{2Z_2} = x - 1$$

$$\frac{Z_1}{Z_2} = 2(x - 1)$$

$$\frac{Z_1}{4Z_2} = \frac{1}{4} \times 2(x - 1)$$

$$\frac{Z_1}{4Z_2} = \frac{(x - 1)}{2}$$

Ainsi, on a :

$$1 + \frac{Z_1}{4Z_2} = 1 + \frac{(x - 1)}{2} = \frac{2 - 1 + x}{2} = \frac{1 + x}{2}$$

D'où :

$$e^{\alpha x} = x + \sqrt{2(x - 1) \frac{(x + 1)}{2}} = x + \sqrt{x^2 + 1}$$

Donc :

$$e^{\alpha x} = x + \sqrt{x^2 + 1}$$

Et

$$e^{-\alpha x} = \frac{1}{x + \sqrt{x^2 + 1}} \cdot \frac{x - \sqrt{x^2 + 1}}{x + \sqrt{x^2 + 1}} = \frac{x - \sqrt{x^2 + 1}}{x^2 - x^2 + 1} = x - \sqrt{x^2 + 1}$$

$$\text{Or } \cosh(t) = \frac{e^t + e^{-t}}{2}$$

Donc :

$$\frac{e^x + e^{-x}}{2} = \frac{x - \sqrt{x^2 + 1} + x + \sqrt{x^2 + 1}}{2} = \frac{2x}{2} = x = \cosh(x)$$

Donc :

$$\cosh(x) = 1 + \frac{Z_1}{Z_2}$$

Et

$$e^x = \sinh(\gamma) + \cosh(\gamma)$$

$$\text{Or } e^x = 1 + \frac{Z_1}{Z_2} + \frac{Z_C}{Z_2}$$

$$\Rightarrow \frac{Z_C}{Z_2} = \sinh(\gamma)$$

$$\text{Donc : } \boxed{Z_2 = \frac{Z_C}{\sinh(\gamma)}}$$

Calculons maintenant  $Z_1'$  :

$$\frac{Z_1'}{2Z_2} = x - 1 \Leftrightarrow Z_1' = 2Z_2(x - 1)$$

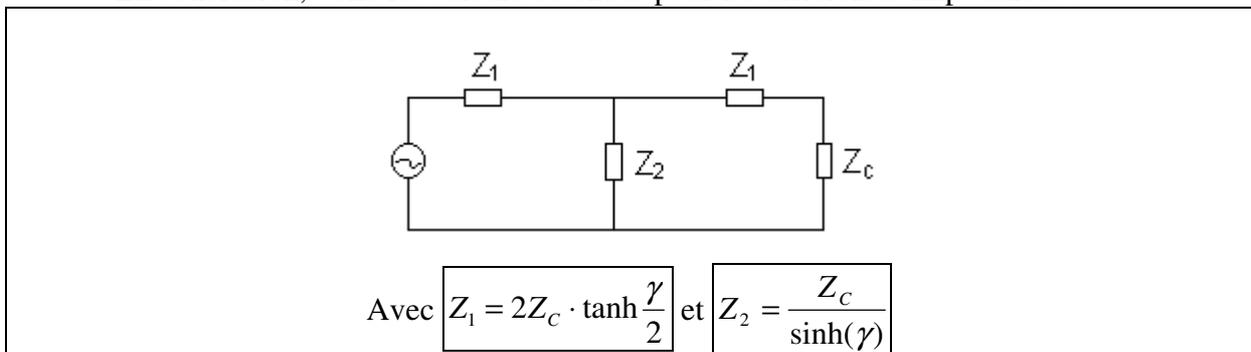
$$Z_1' = 2 \frac{Z_C}{\sinh(\gamma)} (x - 1) = 2Z_C \cdot \frac{\cosh(\gamma) - 1}{\sinh(\gamma)}$$

$$Z_1' = 2Z_C \cdot \frac{\frac{e^\gamma + e^{-\gamma}}{2} - 1}{\frac{e^\gamma - e^{-\gamma}}{2}} = 2Z_C \cdot \frac{e^\gamma + e^{-\gamma} - 2}{e^\gamma - e^{-\gamma}}$$

$$Z_1' = 2Z_C \cdot \frac{\left( e^{\frac{\gamma}{2}} - e^{-\frac{\gamma}{2}} \right)^2}{\left( e^{\frac{\gamma}{2}} + e^{-\frac{\gamma}{2}} \right) \left( e^{\frac{\gamma}{2}} - e^{-\frac{\gamma}{2}} \right)} = 2Z_C \cdot \frac{e^{\frac{\gamma}{2}} - e^{-\frac{\gamma}{2}}}{e^{\frac{\gamma}{2}} + e^{-\frac{\gamma}{2}}}$$

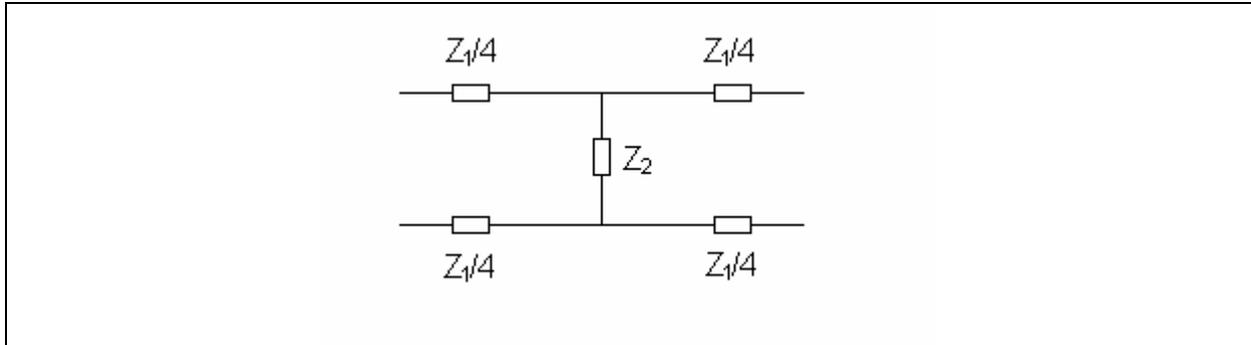
$$\text{Donc : } \boxed{Z_1' = 2Z_C \cdot \tanh \frac{\gamma}{2}}$$

En conclusion, voilà les valeurs obtenues pour les différentes impédances :



c) Application numérique

Allure d'une cellule de la ligne d'affaiblissement artificielle en H homogène, la valeur de l'impédance du circuit en T  $Z_1'$  est divisée par 4, comme le montre ce schéma :



- Calcul des valeurs des composants d'une ligne d'affaiblissement artificielle de 40dB : 40dB correspond à 4,4604Np.

$$Z_1 = 2 \times 129,37 \cdot \tanh \frac{4,4604}{2} = 254,82 \Omega$$

$$\frac{Z_1}{4} = 63,7 \Omega$$

$$Z_2 = \frac{129,37}{\sinh(4,46)} = 2,61 \Omega$$

- Calcul des valeurs des composants d'une ligne d'affaiblissement artificielle de 20dB : 20dB correspond à 2,2302Np.

$$Z_1 = 2 \times 129,37 \cdot \tanh \frac{2,2302}{2} = 212,61 \Omega$$

$$\frac{Z_1}{4} = 53,15 \Omega$$

$$Z_2 = \frac{1}{\sinh(2,23)} = 26,331 \Omega$$

- Calcul des valeurs des composants d'une ligne d'affaiblissement artificielle de 10dB : 10dB correspond à 1,151Np.

$$Z_1 = 2 \times 129,37 \cdot \tanh \frac{1,151}{2} = 135,04 \Omega$$

$$\frac{Z_1}{4} = 33,75 \Omega$$

$$Z_2 = \frac{129,37}{\sinh(1,151)} = 91,387\Omega$$

• Calcul des valeurs des composants d'une ligne d'affaiblissement artificielle de 5dB :  
5dB correspond à 0,55755Np.

$$Z_1 = 2 \times 129,37 \cdot \tanh \frac{0,55755}{2} = 72,256\Omega$$

$$\frac{Z_1}{4} = 18,06\Omega$$

$$Z_2 = \frac{129,37}{\sinh(0,56)} = 212,27\Omega$$

• Calcul des valeurs des composants d'une ligne d'affaiblissement artificielle de 2dB :  
2dB correspond à 0,22302Np.

$$Z_1 = 2 \times 129,37 \cdot \tanh \frac{0,22302}{2} = 29,79\Omega$$

$$\frac{Z_1}{4} = 7,44\Omega$$

$$Z_2 = \frac{129,37}{\sinh(0,223)} = 559,70\Omega$$

Ma ligne artificielle à affaiblissement variable sera donc composée de 5 cellules en H :

- 2 dB : composée de 4 résistances de 7,5  $\Omega$  et une de 560  $\Omega$ .
- 5 dB : composée de 4 résistances de 18  $\Omega$  et une de 212  $\Omega$ .
- 10 dB : composée de 4 résistances de 34  $\Omega$  et une de 91  $\Omega$ .
- 20 dB : composée de 4 résistances de 53  $\Omega$  et une de 26  $\Omega$ .
- 40 dB : composée de 4 résistances de 64  $\Omega$  et une de 2,6  $\Omega$ .

Pour des raisons évidentes de coût, j'ai utilisé des valeurs de résistances normalisées, ce qui modifie très peu l'affaiblissement, en effet, en utilisant un générateur de fréquences à 300kHz et un récepteur adapté, j'ai pu vérifier les valeurs de mes cellules d'affaiblissement:

- Pour 2 dB : 4 x 2 résistances en parallèle de 15  $\Omega$  et une de 560  $\Omega$ , on obtient un affaiblissement réel de 2,0 dB.
- Pour 5 dB : 4 résistances de 18  $\Omega$  et une de 212  $\Omega$ , on obtient un affaiblissement réel de 5,1dB.
- Pour 10 dB : 4 résistances de 33  $\Omega$  et une de 91  $\Omega$ , on obtient un affaiblissement réel de 10,05dB.
- Pour 20 dB : 4 résistances de 51  $\Omega$  et une de 27  $\Omega$  on obtient un affaiblissement réel de 19,7dB.
- Pour 40 dB : 4 résistances de 62  $\Omega$  et une de 2,7  $\Omega$  on obtient un affaiblissement réel de 39,6dB.

### 3. CONCEPTION ET REALISATION

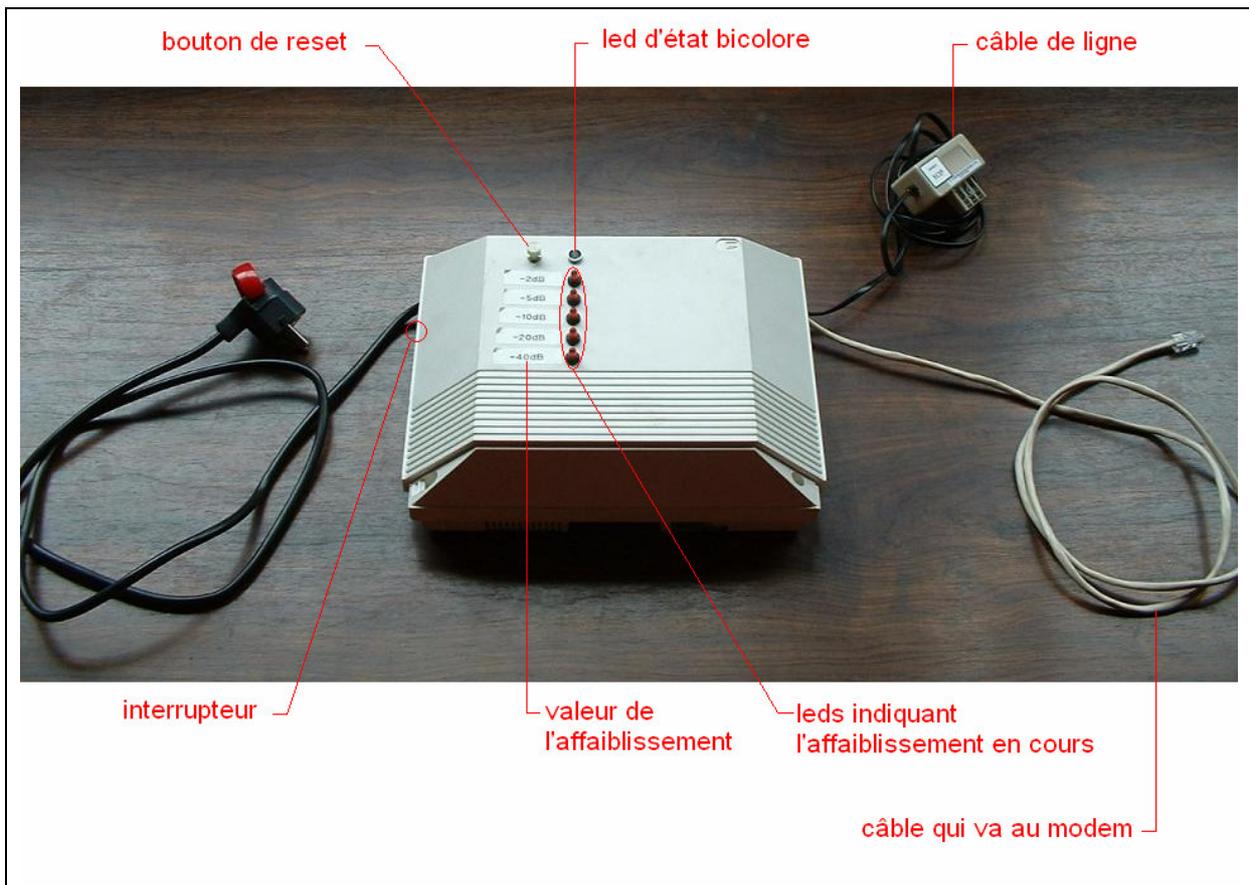
#### A) Matériel

##### 1) Descriptif de l'outil de test

Le matériel de test se présente sous la forme d'un boîtier de 23 x 17 x 9 cm avec 5 diodes électroluminescentes rouges qui indiquent l'affaiblissement courant ou maximal, une diode électroluminescente bicolore qui indique l'état du matériel, d'un bouton de reset, et d'un interrupteur pour l'alimentation. Trois câbles sortent du boîtier : le câble d'alimentation, le câble de ligne (celui que l'on branche sur la prise téléphonique à l'aide d'un filtre), et le câble qui va au modem, qui transmet à celui-ci le signal ADSL affaibli et le signal de synchronisation.

Le signal ADSL passe par la ligne artificielle à affaiblissement variable et est ensuite transmis au modem de test. Celui-ci tente de se synchroniser avec le DSLAM. Le signal de synchronisation est transmis au microcontrôleur 16F84 qui l'interprète et commute les relais qui font varier la valeur de l'affaiblissement de la ligne artificielle.

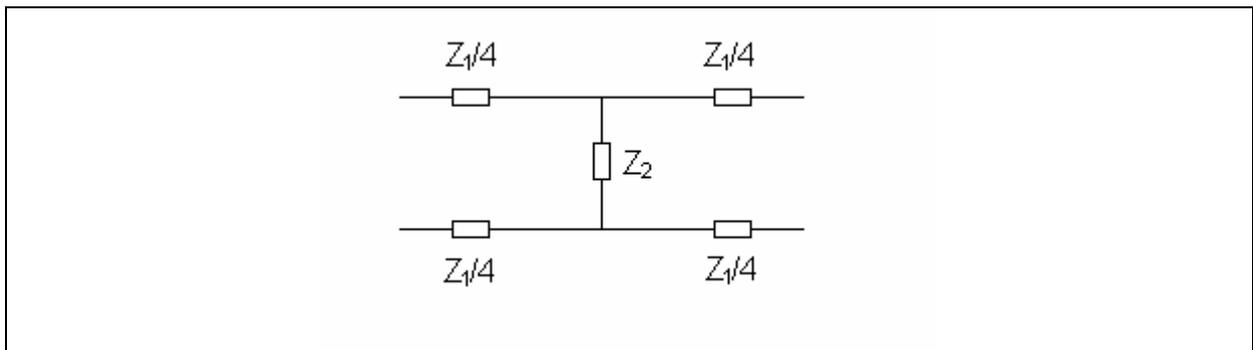
En façade, on peut voir où en est le test selon l'état de la led bicolore : en cours de test, la led « suit » l'état de la led de synchronisation du modem, elle est rouge quand le modem n'est pas synchronisé, clignote lors d'une tentative de synchronisation, est verte en cas de synchronisation, et quand le test de l'équipement du DSLAM (modem au central) est terminé, la led bicolore est orange.



## 2) Conception du matériel

Pour arriver à la réalisation de cet outil, voilà les différentes étapes que j'ai mises en place.

- La réalisation des lignes d'affaiblissement, dont la géométrie en H s'est imposée naturellement pour simuler une ligne bifilaire torsadée. Chaque cellule de la ligne d'affaiblissement artificielle est composée de 5 impédances, qui sont des combinaisons de résistances. Les calculs effectués pour trouver la valeur de ces composants ont été vus au chapitre précédent, dans l'« application sur les lignes d'affaiblissement artificielles », III.2.3.



Le schéma des lignes d'affaiblissement se trouve page 32.

- La réalisation d'un programmeur de PIC 16F84, dont j'ai trouvé le schéma du circuit sur la page Internet [www.jdm.homepage.com](http://www.jdm.homepage.com), et qu'il m'a suffi de câbler après avoir récupéré les composants sur d'anciennes cartes de centraux téléphoniques. Je ne détaillerai donc pas cette partie puisque ce n'est pas le sujet de mon étude.

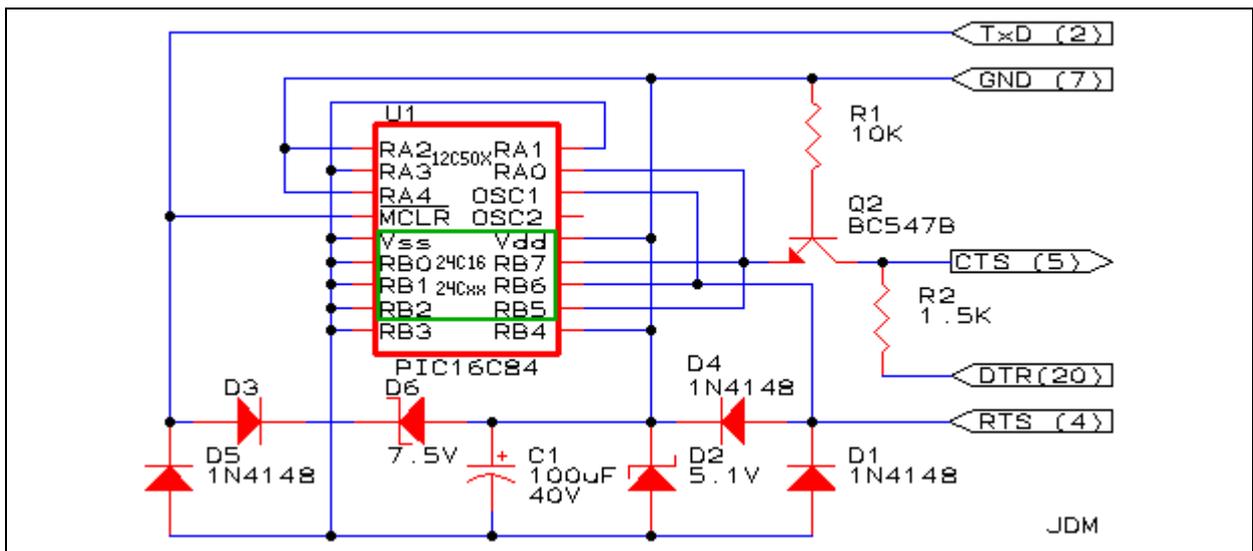


Schéma du programmeur de PIC 16C84 et 16F84 sur port série utilisé pour mon projet

- L'alimentation : c'est une alimentation simple avec un transformateur 2x115/2x9 et un pont de diodes, avec un régulateur 5V, elle fournit deux potentiels : 12V et 5V.

- Le circuit entourant le microcontrôleur : quartz, reset, programmation, ainsi que les entrées/sorties, c'est à dire l'arrivée du signal de synchronisation et la commutation des relais, et l'allumage ou l'extinction des leds appropriées.

Les pattes spécifiques du microcontrôleur :

- VDD est relié au potentiel 5V
- VSS est relié à la masse
- le reset fonctionne en ramenant le potentiel 0V sur la patte « masterclear » MCLR\
- Un quartz de 4 MHz est branché entre les pattes « oscillator1 » OSC1 et « oscillator2 » OSC2, et chaque patte du quartz est reliée à la masse par un condensateur de petite valeur, pour permettre l'oscillation.
- J'ai mis un connecteur DB9 sur le boîtier pour réaliser la programmation ICSP : In Circuit Serial Programming, de ce connecteur arrivent les signaux masterclear, data, et clock sur les broches masterclear, RB7, et RB6.

Les entrées-sorties :

- Il n'y a qu'une seule entrée dans mon circuit : le signal de synchronisation venant du modem arrive sur la patte RA2.
- Les pattes RB1 à RB5 sont les sorties qui vont sur le driver de relais, et qui permettent de commuter les relais pour sélectionner l'une ou l'autre des cellules d'affaiblissement.
- Les pattes RA0 et RA1 sont reliées à la led bicolore, RA0 commande le rouge, RA1 le vert.
- On commande l'allumage ou l'extinction des leds rouges (valeur de l'affaiblissement) grâce à un circuit en collecteur ouvert sur RA4. Au final, j'ai préféré toujours laisser allumé les leds indiquant la valeur de l'affaiblissement en cours pour savoir où en est le test.

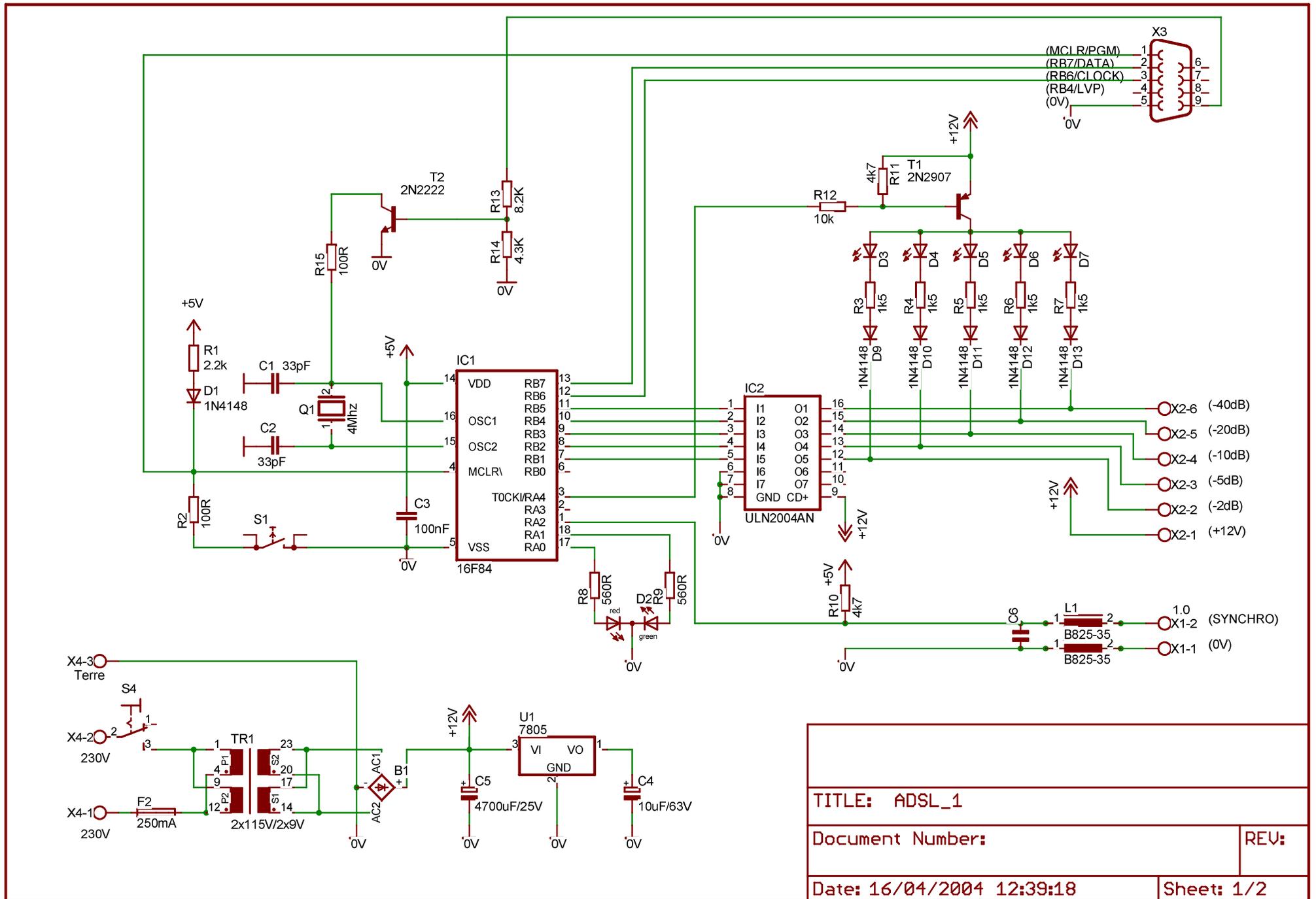
Le schéma du circuit principal et de l'alimentation se trouve page 33.

- La modification du modem : deux solutions se présentaient à moi pour extraire le signal de synchronisation du modem et le ramener en entrée du microcontrôleur : soit prendre directement le signal ADSL, ce qui aurait nécessité un traitement du signal pour détecter la synchronisation, soit capter le signal lumineux de la diode électroluminescente de synchronisation du modem, c'est la solution que j'ai retenue pour des raisons de praticité, puisqu'il suffit de suivre l'état de la led pour savoir si le modem est synchronisé, la gestion au niveau du microcontrôleur est donc plus facile.

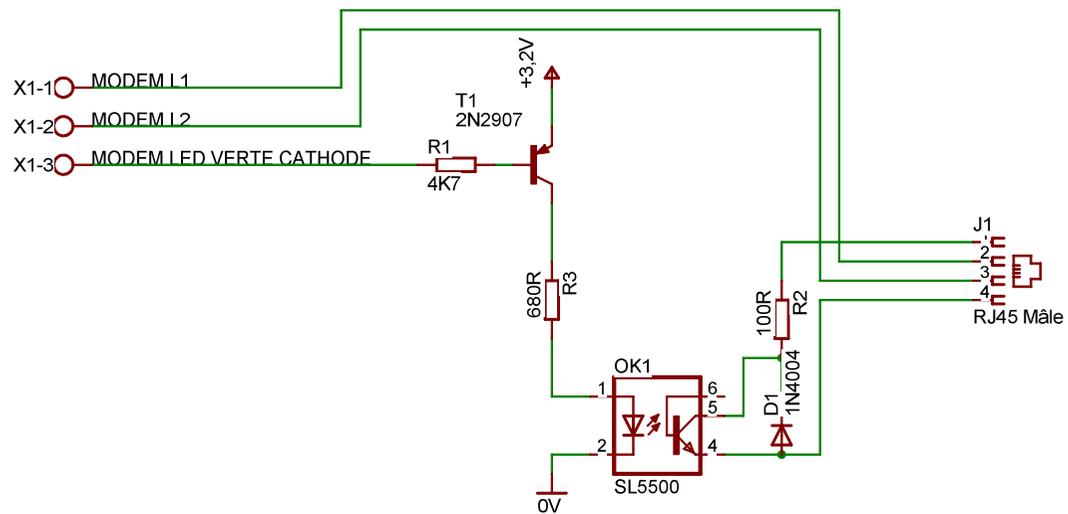
Le but du petit circuit que j'ai implanté dans le modem de test est d'extraire le signal de synchronisation : j'ai donc soudé une résistance de 4,7k $\Omega$  entre la cathode de la led de synchronisation et la base d'un transistor PNP, dont le collecteur alimente un opto-coupleur, dont la sortie est ramenée sur un fil disponible du connecteur RJ45 du modem. Ainsi, quand on branche le câble qui relie mon outil de test et le modem, le signal de synchronisation est ramené vers le microcontrôleur.

Le schéma de la modification du modem se trouve page 34.





TITLE: ADSL_1	
Document Number:	REV:
Date: 16/04/2004 12:39:18	Sheet: 1/2



TITLE: Test_ADSL_3	
Document Number:	REV:
Date: 13/01/2004 15:15:22	Sheet: 1/1

## B) Logiciel

C'est après l'étude du fonctionnement du microcontrôleur Microchip PIC 16F84 que je commence à élaborer mon programme. Le but de celui-ci est de sélectionner un affaiblissement donné en fonction de la présence ou non de la synchronisation entre le DSLAM et le modem de test et, après une série de tests qui dure quelques minutes, de donner l'affaiblissement maximal avec lequel le modem se synchronise avec le DSLAM.

La mise au point de ce programme a été effectuée en trois étapes :

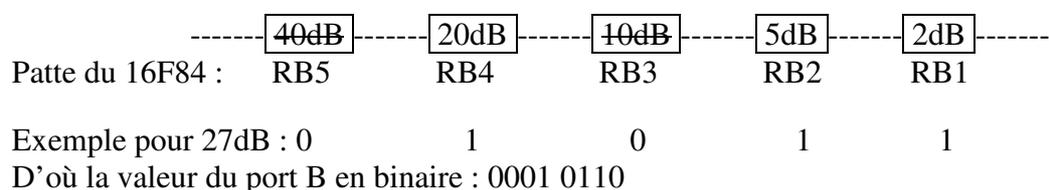
- La conception initiale du programme et la prise en main du compilateur PICC-Lite de HI-TECH, et d'ICProg, le logiciel qui permet de transférer le code hexadécimal dans le microcontrôleur.
- La mise en forme du code.
- Le débogage et la finition du programme.

### 1) Conception initiale du programme – Description

Au début du test du modem du DSLAM, le microcontrôleur attend qu'une première synchronisation ait lieu à 0 dB d'affaiblissement, c'est à dire que le modem est directement relié au DSLAM via le répartiteur général. Après cette première synchronisation réussie, le microcontrôleur sélectionne un affaiblissement de 50 dB et attend la synchronisation. La suite de la recherche est dichotomique : on peut rechercher une synchronisation au maximum jusqu'à 77 dB.

Les sorties 1 à 5 du port B du 16F84 sont associées à chacune des cellules d'affaiblissement : ainsi, en combinant les sorties, on obtient des affaiblissements de 0, 2, 5, 7, 10, 12, 15, 17, 20, 22, 25, 27, 30, 32, 35, 37, 40, 42, 45, 47, 50, 52, 55, 57, 60, 62, 65, 67, 70, 72, 75 et 77 dB.

Ainsi, pour faire un test de synchronisation à 27 dB :



### 2) La mise en forme du code

Le programme principal : Il a pour rôle d'initialiser le microcontrôleur et les variables, ainsi que de choisir l'affaiblissement utilisé pour réaliser les tests en fonction de la présence ou non de synchronisation, indication transmise par la routine d'interruption via une variable.

En cours et en fin de programme, le programme principal affiche :

- *l'état courant* sur la led bicolore :

Si la diode électroluminescente bicolore d'état est rouge, le modem n'est pas synchronisé, en attente d'une tentative de synchronisation.

Si elle est verte clignotante, cela signifie que le test de synchronisation s'est bien déroulé.

Si elle est de couleur orange, le test de l'équipement du DSLAM est achevé.

- *l'affaiblissement maximal* avec lequel le DSLAM et le modem de test ont pu se synchroniser.

La fonction d'interruption : Le signal de synchronisation est ramené du modem sur une des pattes du microcontrôleur. J'utilise une fonction d'interruption qui analyse l'état de led de synchronisation du modem toutes les 65ms et détecte ses changements d'état. La led de synchronisation du modem clignotant avec une période d'environ une seconde, la fonction d'interruption confirme l'état « synchronisé » ou « non synchronisé » si la led ne change pas d'état pendant plus de deux secondes, si des changements interviennent, on est dans l'état « en cours de synchronisation ».

La fonction d'interruption a également pour rôle de décrémenter un compteur qui est utilisé dans les autres sous programmes, il est donc facile de gérer une temporisation.

Les sous-programmes : ils sont au nombre de 5.

- Le premier n'est utilisé qu'une fois au début du programme, il a pour rôle d'attendre la première synchronisation réussie, de manière à ce que le programme principal ne considère pas le plot mauvais, puisque les modems des DSLAM de marque LUCENT doivent essayer de se synchroniser plusieurs fois avant d'y parvenir, cela permet également ne pas considérer un plot hors service, alors que le connecteur de test n'est pas branché au répartiteur.

- Le second a pour rôle d'attendre un état stable, « synchronisé » ou « non synchronisé », ce qui permet de passer au test suivant.

- Le troisième, qui attend l'état « en cours de synchronisation », est inséré dans le programme entre un changement d'affaiblissement et le sous-programme qui attend un état fixe (« synchronisé » ou « non synchronisé »), de façon à ne pas considérer un équipement mauvais, alors que le DSLAM n'a pas eu temps de tenter une nouvelle synchronisation.

- Le quatrième sous-programme a été conçu après les premiers tests et sert à « faire décrocher » le modem de test. En effet, si un test de synchronisation était réussi, et que le saut d'affaiblissement n'était pas assez important, le modem, dans certains cas, restait synchronisé, et faussait ainsi le test suivant. On introduit donc entre deux tests l'affaiblissement le plus important (77 dB), le modem se désynchronise à coups sûr.

- Le dernier sous-programme est une simple temporisation qui utilise la scrutation de variable.

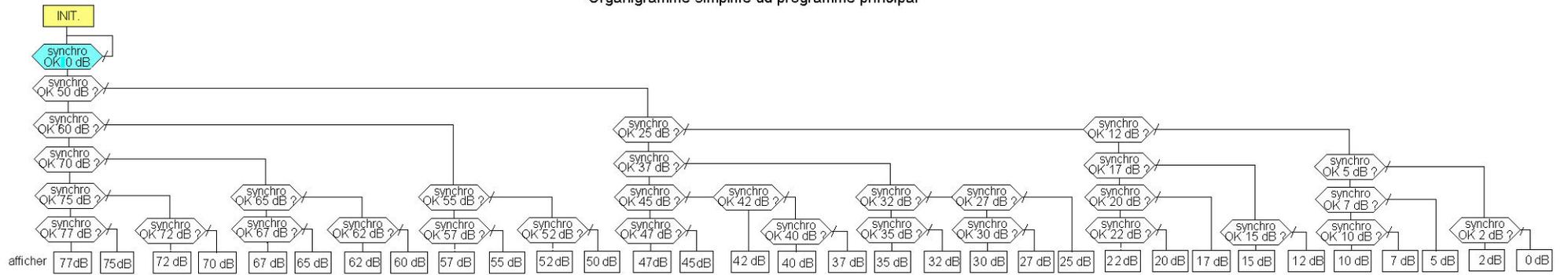
L'organigramme simplifié du programme principal se trouve à la page 38, et l'organigramme détaillé en annexe.

Le code C complet du logiciel se trouve à la page 39, les commentaires sont notés en gras, le fichier pic.h est disponible en annexe.

### 3) Débogage du programme

Au cours de la conception et des essais de mon programme en situation réelle, je me suis heurté à plusieurs problèmes. D'une part, le modem ne se désynchronisait pas entre chaque test à affaiblissement différents, j'ai donc introduit après chaque synchronisation un saut d'affaiblissement à 77dB, ce qui fait « décrocher » le modem, d'autre part, les équipements Lucent et ECI ne réagissent pas de la même manière. En effet, le modem que j'utilise pour réaliser mes tests est un ancien modem de marque ECI, et donc tout à fait adapté pour les DSLAM de cette marque, mais présente des difficultés pour la première synchronisation avec un DSLAM Lucent : plusieurs tentatives de synchronisation étaient nécessaires, et mon outil de test considérait le plots comme hors-service, les tests suivants n'étaient donc pas effectués. Pour remédier à ce problème, j'ai donc introduit au début de mon des test un sous-programme qui permet d'attendre indéfiniment une synchronisation réussie. L'ajout de ce sous-programme évite aussi à mon outil d'indiquer un affaiblissement erroné s'il n'est pas branché sur un équipement, puisque les tests ne commencent qu'après une première synchronisation réussie sans introduction d'affaiblissement.

Organigramme simplifié du programme principal



## Code C du programme

```
/**
version du 14/06/04
```

Projet : tests d'équipements ADSL HS

- programme de gestion des relais pour modification de l'affaiblissement de la ligne artificielle
- affichage de la valeur d'affaiblissement maximale pour laquelle le modem arrive a se synchroniser avec le DSLAM

```
****/
```

```
#include      <pic.h>

#define _0db          0b00000000          // relais a commuter en fonction de
                                           l'affaiblissement
#define _2db          0b00000010
#define _5db          0b00000100
#define _7db          0b00000110
#define _10db         0b00001000
#define _12db         0b00001010
#define _15db         0b00001100
#define _17db         0b00001110
#define _20db         0b00010000
#define _22db         0b00010010
#define _25db         0b00010100
#define _27db         0b00010110
#define _30db         0b00011000
#define _32db         0b00011010
#define _35db         0b00011100
#define _37db         0b00011110
#define _40db         0b00100000
#define _42db         0b00100010
#define _45db         0b00100100
#define _47db         0b00100110
#define _50db         0b00101000
#define _52db         0b00101010
#define _55db         0b00101100
#define _57db         0b00101110
#define _60db         0b00110000
#define _62db         0b00110010
#define _65db         0b00110100
#define _67db         0b00110110
#define _70db         0b00111000
#define _72db         0b00111010
#define _75db         0b00111100
#define _77db         0b00111110
```

```

#define led_rouge    RA0 // sortie état synchro
#define led_verte    RA1 // sortie état synchro
#define visu_led     RA4 // sortie commande des Leds de visualisation
#define opto         RA2 // entrée venant du modem

#define EN_COURS    0
#define NOK         1 // différents statuts synchro
#define OK          2
#define INDEFINI    3

#define UNE_MINUTE      900 // 4Mhz/4/256/256 = 65,536ms * 900 = 1min
#define DEUX_SECONDES  30 // 4Mhz/4/256/256 = 65,536ms * 30 = 2s
#define UNE_SECONDE    15 // 4Mhz/4/256/256 = 65,536ms * 15 = 1s
#define DEMIE_SECONDE  8 // 4Mhz/4/256/256 = 65,536ms * 8 = 0.5s
#define QUART_SECONDE  3 // 4Mhz/4/256/256 = 65,536ms * 4 = 0.25s

```

```

__CONFIG(UNPROTECT & XT & WDTDIS & PWRTEN);
// pas de protection code/data
// oscillateur quartz rapide
// pas de watch dog
// tempo d'init validee

```

```

static unsigned char    synchro, attend, variation, niveau, i, poids;
static unsigned         int    temp;
static bit              etat_precedent;

```

```

static void attend_ok(void);
static void attend_ok_nok(void);
static void attend_en_cours(void);
static void tempo(void);
static void decrochage_modem(void);

```

### **// Fonction interrupt :**

```

// analyse état opto toutes les 65ms et détecte les changements d'état.
// si pas de changement pendant plus de 2 secondes l'état est confirme OK ou NOK.
// si changements d'état, la led verte suit le rythme et état = EN_COURS.

```

```

static void interrupt isr(void)
{
    if (opto == etat_precedent) // changement d'état ?
    {
        if (attend == 0) // état confirme pendant 2 secondes ?
        {
            variation = 0;
            if (etat_precedent == 0) // oui on confirme nouvel état
            {
                led_rouge = 0; // signal en conséquence
                led_verte = 1;
                synchro = OK;
            }
        }
    }
}

```

```

        }
        else
        {
            led_rouge = 1;
            led_verte = 0;
            synchro = NOK;
        }
        attend = DEUX_SECONDES;
    }
    else
        attend--;                // non on patiente
}
else
{
    etat_precedent = opto;        // l'état a changé
    led_rouge = 0;
    led_verte = !etat_precedent; // on suit
    variation = variation + 1;
    attend = DEUX_SECONDES;      //réarme durée de confirmation état

    if(variation > 3)
        synchro = EN_COURS;
    else
        synchro = INDEFINI;
}

if (temp != 0)
    temp--;                      // tempo utilisateur

TOIF = 0;                       // reset interrupt flag
}

```

```

main(void)
{
    INTCON = 0b00100000; // autorise interruption sur debordement TMR0
    OPTION = 0b11010111; // pas de pull-up, TMR0 incremente sur Haut/bas
                        // prescaler 1/256

    TRISA = 0b11101100;
    TRISB = 0b11000000;
    PORTA = 0b00010011;
    PORTB = 0b00000000;

    ei();                    // autorise les interruptions

    // test des relais et des leds (chenillard)

```

```

PORTA = 0b00000011;    // allumage des leds

poids = 0b00000001;

for(i=0;i<6;i++)
{
    PORTB = poids;
    temp = QUART_SECONDE;
    tempo();
    poids*=2;
}

for(i=0;i<6;i++)
{
    PORTB = poids;
    temp = QUART_SECONDE;
    tempo();
    poids/=2;
}

// PORTA = 0b00010011;    // extinction des leds, au départ, je ne voulais afficher
                        // que l'affaiblissement final
PORTB = 0b00000000;    // 1er test à zéro dB
synchro = EN_COURS;
variation = 0;          //initialisation de la variable variation
attend = DEUX_SECONDES;
etat_precedent = opto;

niveau = 0b00000000;    //initialisation de la variable niveau (valeur de
                        //l'affaiblissement le plus important avec synchro
                        //réussie)

attend_ok();            // attente de synchro = OK
decrochage_modem();    // « décrochage » du modem après une
                        //synchronisation réussie
PORTB = _50db;         //commutation des relais sur un affaiblissement plus
                        //important
attend_en_cours();     //attente d'une tentative de synchronisation
attend_ok_nok();       //attente de la fin de tentative de synchronisation

// test du signal de synchro à 50dB
if(synchro == OK)
{
    niveau = _50db;
    decrochage_modem();
    PORTB = _60db;
    attend_en_cours();
    attend_ok_nok();

// test du signal de synchro à 60dB

```

```

if(synchro == OK)
{
    niveau = _60db;
    decrochage_modem();
    PORTB = _70db;
    attend_en_cours();
    attend_ok_nok();

// test du signal de synchro à 70dB
if(synchro == OK)
{
    niveau = _70db;
    decrochage_modem();
    PORTB = _75db;
    attend_en_cours();
    attend_ok_nok();

// test du signal de synchro à 75dB
if(synchro == OK)
{
    niveau = _75db;
    PORTB = _77db;
    attend_en_cours();
    attend_ok_nok();

// test du signal de synchro à 77dB
if(synchro == OK)
{
    niveau = _77db;
}
}
else
{
    PORTB = _72db;
    attend_en_cours();
    attend_ok_nok();

// test du signal de synchro à 72dB
if(synchro == OK)
    niveau = _72db;
}
}
else
{
    PORTB = _65db;
    attend_en_cours();
    attend_ok_nok();

// test du signal de synchro à 65dB
if(synchro == OK)

```

```

    {
    niveau = _65db;
    decrochage_modem();
    PORTB = _67db;
    attend_en_cours();
    attend_ok_nok();

    // test du signal de synchro à 67dB
    if(synchro == OK)
        niveau = _67db;
    }
else
    {
    PORTB = _62db;
    attend_en_cours();
    attend_ok_nok();

    // test du signal de synchro à 62dB
    if(synchro == OK)
        niveau = _62db;
    }
}
else
    {
    PORTB = _55db;
    attend_en_cours();
    attend_ok_nok();

    // test du signal de synchro à 55dB
    if(synchro == OK)
        {
        niveau = _55db;
        decrochage_modem();
        PORTB = _57db;
        attend_en_cours();
        attend_ok_nok();

        // test du signal de synchro à 57dB
        if(synchro == OK)
            niveau = _57db;
        }
else
    {
    PORTB = _52db;
    attend_en_cours();
    attend_ok_nok();

    // test du signal de synchro à 52dB
    if(synchro == OK)

```

```

        niveau = _52db;
    }
}
else
{
    PORTB = _25db;
    attend_en_cours();
    attend_ok_nok();

// test du signal de synchro à 25dB
    if(synchro == OK)
    {
        niveau = _25db;
        decrochage_modem();
        PORTB = _37db;
        attend_en_cours();
        attend_ok_nok();

// test du signal de synchro à 37dB
        if(synchro == OK)
        {
            niveau = _37db;
            decrochage_modem();
            PORTB = _45db;
            attend_en_cours();
            attend_ok_nok();

// test du signal de synchro à 45dB
            if(synchro == OK)
            {
                niveau = _45db;
                decrochage_modem();
                PORTB = _47db;
                attend_en_cours();
                attend_ok_nok();

// test du signal de synchro à 47dB
                if(synchro == OK)
                {
                    niveau = _47db;
                }
            }
        }
    }
    else
    {
        PORTB = _42db;
        attend_en_cours();
        attend_ok_nok();

// test du signal de synchro à 42dB

```

```

if(synchro == OK)
{
    niveau = _42db;
}
else
{
    PORTB = _40db;
    attend_en_cours();
    attend_ok_nok();

// test du signal de synchro à 40dB
if(synchro == OK)
{
    niveau = _40db;
}
}
}
else
{
    PORTB = _32db;
    attend_en_cours();
    attend_ok_nok();

// test du signal de synchro à 32dB
if(synchro == OK)
{
    niveau = _32db;
    decrochage_modem();
    PORTB = _35db;
    attend_en_cours();
    attend_ok_nok();

// test du signal de synchro à 35dB
if(synchro == OK)
{
    niveau = _35db;
}
}
else
{
    PORTB = _27db;
    attend_en_cours();
    attend_ok_nok();

// test du signal de synchro à 27dB
if(synchro == OK)
{
    niveau = _27db;
    decrochage_modem();

```

```

    PORTB = _30db;
    attend_en_cours();
    attend_ok_nok();

    // test du signal de synchro à 30dB
    if(synchro == OK)
    {
        niveau = _30db;
    }
}
}
}
}
}
else
{
    PORTB = _12db;
    attend_en_cours();
    attend_ok_nok();

    // test du signal de synchro à 12dB
    if(synchro == OK)
    {
        niveau = _12db;
        decrochage_modem();
        PORTB = _17db;
        attend_en_cours();
        attend_ok_nok();

        // test du signal de synchro à 17dB
        if(synchro == OK)
        {
            niveau = _17db;
            decrochage_modem();
            PORTB = _20db;
            attend_en_cours();
            attend_ok_nok();

            // test du signal de synchro à 20dB
            if(synchro == OK)
            {
                niveau = _20db;
                decrochage_modem();
                PORTB = _22db;
                attend_en_cours();
                attend_ok_nok();

                // test du signal de synchro à 22dB
                if(synchro == OK)
                {
                    niveau = _22db;

```

```

    }
  }
}
else
{
  PORTB = _15db;
  attend_en_cours();
  attend_ok_nok();

  // test du signal de synchro à 15dB
  if(synchro == OK)
  {
    niveau = _15db;
  }
}
else
{
  PORTB = _5db;
  attend_en_cours();
  attend_ok_nok();

  // test du signal de synchro à 5dB
  if(synchro == OK)
  {
    niveau = _5db;
    decrochage_modem();
    PORTB = _7db;
    attend_en_cours();
    attend_ok_nok();

    // test du signal de synchro à 7dB
    if(synchro == OK)
    {
      niveau = _7db;
      decrochage_modem();
      PORTB = _10db;
      attend_en_cours();
      attend_ok_nok();

      // test du signal de synchro à 10dB
      if(synchro == OK)
      {
        niveau = _10db;
      }
    }
  }
}
else
{
  PORTB=_2db;

```

```

attend_en_cours();
attend_ok_nok();

// test du signal de synchro à 2dB
if(synchro == OK)
{
    niveau = _2db;
}
}
}
}

//affichage du niveau max de synchro
PORTB=niveau;
PORTA = 0b00000011;
asm ("sleep");
}

```

**//sous-programme 1 : attente de la première synchronisation (à zero dB)**

```

static void attend_ok(void)
{
    while(1)
    {
        if(synchro == OK)
            break;
    }
}

```

**//sous-programme 2 : attente d'un état stable, c'est à dire que la tentative de synchronisation est terminée, soit le modem est synchronise, soit il ne l'est pas. Si rien ne se passe au bout d'une minute, on continue le programme, avec un affaiblissement moins important.**

```

static void attend_ok_nok(void)
{
    temp=UNE_MINUTE;
    while(temp>1)
    {
        if(synchro == OK | synchro == NOK)
            break;
    }
}

```

**//sous-programme 3 : On attend une tentative de synchronisation, si rien ne se passe au bout d'une minute, on continue le programme, avec un affaiblissement moins important.**

```

static void attend_en_cours(void)
{
    temp=UNE_MINUTE;
    while(temp>1)

```

```

    {
        if(synchro == EN_COURS)
            break;
    }
}

```

**//sous-programme 4 : Pour faire “décrocher” le modem, il faut un saut brutal d’affaiblissement, ou une coupure de la ligne : on introduit donc l’affaiblissement le plus important, et on attend que le modem soit désynchronisé**

```

static void decrochage_modem(void)
{
    PORTB = _77db;
    while(1)
    {
        if(synchro == NOK)
            break;
    }
}

```

**//sous-programme 5 : fonction temporisation : une variable (temp) est initialisée dans le corps du programme, et décrémentée dans la fonction d’interruption. Ce sous-programme scrute la valeur de cette variable, et quand elle arrive à zéro, c’est que la durée souhaitée est écoulée**

```

static void tempo(void)
{
    while(temp != 0)
    {
    }
}

```

## 5. COUT DU MATERIEL

Outre l'investissement en temps qui m'a été nécessaire pour la conception et la réalisation de ce projet, estimé à deux mois et demi de travail à temps plein, je présente dans cette partie le coût du matériel que j'ai utilisé pour réaliser l'outil de test de plots ADSL.

Dans la pratique, la plupart du matériel et des composants du projet ont été récupérés sur des cartes électroniques désinvesties à France Telecom.

### Carte microcontrôleur et alimentation

Part	Value	Device	Package	Prix (TTC)
B1	2KBB-R	2KBB-R	rectifier	0,80 €
C1	33pF	C-EUC1206	C1206	0,40 €
C2	33pF	C-EUC1206	C1206	0,40 €
C3	100nF	C-EU025-025X050	C025-025X050	0,60 €
C4	10uF/63V	CPOL-TAP5-45	TAP5-45	0,30 €
C5	4700uF/25V	CPOL-TAP5-45	TAP5-45	1,50 €
C6	C2,5-3	C2.5-3	capacitor-wima	0,40 €
D1	1N4148	1N4148	DO35-10	0,05 €
D2	DUOLED5MM	DUOLED5MM	led	1,00 €
	support duoled			1,00 €
D3	LED5MM	LED5MM	led	0,05 €
D4	LED5MM	LED5MM	led	0,05 €
D5	LED5MM	LED5MM	led	0,05 €
D6	LED5MM	LED5MM	led	0,05 €
D7	LED5MM	LED5MM	led	0,05 €
D9	1N4148	1N4148	DO35-10	0,15 €
D10	1N4148	1N4148	DO35-10	0,15 €
D11	1N4148	1N4148	DO35-10	0,15 €
D12	1N4148	1N4148	DO35-10	0,15 €
D13	1N4148	1N4148	DO35-10	0,15 €
F2	250mA	SH32	SH32	0,20 €
IC1	16F84	PIC16F84AP	DIL18	7,50 €
IC2	ULN2004AN	ULN2004AN	DIL16	1,10 €
L1	B825-35	B825-35	B825-35	1,20 €
L2	B825-35	B825-35	B825-35	1,20 €
Q1	4Mhz	XTAL/S	QS	1,30 €
R1	2.2k	R1206	R1206	0,06 €
R2	100R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R3	1k5	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R4	1k5	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R5	1k5	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R6	1k5	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R7	1k5	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R8	560R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R9	560R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R10	4k7	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R11	4k7	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R12	10k	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R13	8.2K	R-EU_0207/12	0207/12	0,06 €

R14	4.3K	R-EU_0207/12	0207/12	0,06 €
R15	100R	R-EU_0207/12	0207/12	0,06 €
S1	REKN	REKN	switch	4,90 €
S4	320-916	320-916	switch	1,40 €
T1	2N2907	2N2907	TO18	0,50 €
T2	2N2222	2N2222	TO18	0,60 €
TR1	2x115V/2x9V	UI48	UI48	7,30 €
U1	7805	78LXXZ	TO92	0,80 €
	dissipateur TO220			1,00 €
X1	1.0	AK300/2	AK300/2	1,00 €
X2	AK300/6	AK300/6	con-ptr500	1,00 €
X3	F09V	F09V	con-subd	0,50 €
X4	Terre	AK300/3	AK300/3	0,70 €
	support ULN			0,45 €
	support PIC			0,50 €
	porte-fusible			0,30 €
	plaque à trous			6,00 €
	plaque à trous			6,00 €
	cordon secteur tri			2,50 €
	boitier plastique			21,00 €

somme	77,30 €
-------	---------

ligne  
d'affaiblissement

Part	Value	Device	Package	Prix (TTC)
C1	1uF	C5/2.5	C5B2.5	0,90 €
J1	RJ45	Femelle	215875-3	0,15 €
K1	G6A-434P	G6A-434P	G6A-434P	23,06 €
K2	G6A-434P	G6A-434P	G6A-434P	23,06 €
K3	G6A-434P	G6A-434P	G6A-434P	23,06 €
K4	G6A-434P	G6A-434P	G6A-434P	23,06 €
K5	G6A-434P	G6A-434P	G6A-434P	23,06 €
R1	15R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R2	15R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R3	15R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R4	15R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R5	560R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R6	18R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R7	18R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R8	18R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R9	18R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R10	212R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R11	33R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R12	33R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R13	33R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R14	33R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R15	91R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R16	51R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R17	51R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R18	51R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R19	51R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €

R20	27R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R21	62R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R22	62R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R23	62R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R24	62R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R25	2,7R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
X1	AK300/2	AK300/2	con-ptr500	3,20 €
X2	AK300/6	AK300/6	con-ptr500	6,00 €
	support relais			0,40 €
	support relais			0,40 €
	support relais			0,40 €
	support relais			0,40 €
	support relais			0,40 €

somme	129,04 €
-------	----------

modification  
modem

Part	Value	Device	Package	Prix (TTC)
D1	1N4004	1N4004	DO41-10	0,08 €
J1	RJ45	Mâle	520242-2	0,25 €
OK1	SL5500	4N35	DIL06	0,50 €
R1	4K7	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R2	100R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
R3	680R	R1-4WR1-4W	R1-4WATT	0,06 €
T1	2N2907	2N2907	TO18	0,50 €
	modem			25,00 €

somme	26,51 €
-------	---------

Total 232,85 €

Le coût de réalisation de cet outil de test de plots ADSL s'élève à 232,85€. Ce prix assez important est dû au prix élevé des relais basse intensité utilisés, indispensables pour transmettre les signaux de type ADSL.

Ce coût est à relativiser sachant que mon outil de test permet de réattribuer à des abonnés des plots qui fonctionnent, alors qu'ils avaient été déclarés mauvais, et par là même de limiter le remplacement de cartes onéreuses considérées à tort comme défectueuses. L'économie réalisée est de 1300 à 2300€ par carte non remplacée.

## CONCLUSION

Au terme de cette étude, je peux affirmer que l'objectif que nous nous étions fixé dans le Groupe d'Intervention Local Multi-techniques de Mulhouse est atteint, à savoir réaliser un outil qui permet de remettre à disposition des abonnés des plots ADSL de manière fiable.

J'ai utilisé l'outil de test de plots ADSL sur environ 150 plots depuis qu'il est réalisé. Il a permis de confirmer ou d'infirmier un diagnostic émis par d'autres services de France Telecom sur ces plots.

La conséquence supplémentaire de la qualification des plots est la réduction du nombre de remplacements de cartes modem, ce qui génère une économie significative. La multiplication de cet outil et la systématisation de son utilisation, malgré ses coûts de fonctionnement, au regard de l'économie réalisée peut s'avérer rentable. Mais ceci serait l'objet d'une autre étude !

L'étude théorique de ce projet m'a beaucoup apporté, en particulier sur la connaissance de la technologie ADSL et les lignes de transmission. La partie de conception et de réalisation a également été très intéressante, puisque j'ai pu appliquer et approfondir mes connaissances en langage de programmation C, et surtout découvrir de quelle manière on conçoit un circuit électronique.

En outre, ces deux années passées au service de France Telecom m'ont permis de découvrir le monde de l'entreprise et de la concurrence.

## V. ANNEXES

- Glossaire
- Organigramme détaillé
- (Fichier « pic.h » et « pic1684.h »)
- Bibliographie - Sources
- (Data sheet du PIC16F84A)

## GLOSSAIRE

### A

ADSL : Asymmetric Digital Subscriber Line : Ligne d'abonné numérique à débit asymétrique

ATM : Asynchronous Transfer Mode : Mode de transfert asynchrone

### D

Dowstream : sens descendant : du réseau vers l'abonné

DSLAM : Digital Subscriber Line Access Multiplexer : Multiplexeur d'accès de lignes d'abonnés numériques

### F

FAI : Fournisseur d'Accès à Internet

FTP : File Transfer Protocol : Protocole de transfert de fichier

### G

GSM : Global System for Mobile communication

### I

IP : Internet Protocol : Protocole Internet

### M

Modem : Modulateur-démodulateur

### P

PDH : Plesiochrone Digital Hierarchy : Hiérarchie numérique plésiochrone

### S

SDH : Synchronous Digital Hierarchy : Hiérarchie numérique synchrone

### U

UMTS : Universal Mobile Telecommunication System : Système de télécommunication mobile universel : services mobiles de 3<sup>e</sup> génération

Upstream : sens montant (de l'abonné vers le réseau)



## BIBLIOGRAPHIE - SOURCES

Bibliographie : « Présentation de l'ADSL, mini rapport », Jean Parrend, GEII App2, 2004.  
« ADSL et xDSL, nouvelles technologies d'accès à Internet », W. Goralski, traduit de l'américain par V. Giry, OEM, 2000.  
Datasheets des composants suivants : ULN 2004, 7805, SL5500, 2N2907, 2N2222.

Site Internet : [www.jdm.homepage.dk](http://www.jdm.homepage.dk)

Outils internes France Telecom : <http://acasiaanet.francetelecom.fr>  
<http://reseau-d-acces-netrsa.francetelecom.fr>