



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie



N° d'ordre : M...../GE/2018

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES MASTER ACADEMIQUE

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Thème

**ETUDE, SIMULATION ET OPTIMISATION DES
PARAMETRES D'UNE CHAINE DE TRANSMISSION PAR
FIBRE OPTIQUE**

Présenté par :

- Issa Oumarou Hadizatou
- Laouali Ibrahim Mariama

Soutenu le 27 / 06 / 2018 devant le jury composé de :

Président : H.A. BENTOUNES

Examineur : A. BENCHELLAL

Examineur : D. BENDANI

Encadreur : Pr BOUKORTT ABDELKADER

Co-encadreur : M. BENAOUALI

Année Universitaire : 2017 / 2018

Remerciement

Avant tout, nous remercions ALLAH de nous avoir aidé à réaliser ce présent travail.

Nous adressons au Pr ABDEL KADER BOUKORTT Professeurs à l'Université Abdel Hamid Ibn Badis Faculté de Science et Technique, nos sincères reconnaissances et nos remerciements les plus vifs, de nous avoir dirigé et guidé tout le long de ce travail.

Nos remerciements les plus profond et sincères reconnaissance à Mr MOHAMED BENAOUALI professeur à l'Université Abdel Hamid Ibn Badis Faculté de science et Technique de nous avoir aidée à travers ses sages conseils et d'être patient avec nous tout au long de ce mémoire.

Nous remercions l'ensemble des membres du jury de nous avoir fait l'honneur d'accepter de lire et de juger ce mémoire.

Nous tenons à remercier l'ensemble du corps enseignant du département génie électrique en général et ceux du parcours systèmes des télécommunications en particulier.

Dédicace

A nos très chers parents.



SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre I: Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS.	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Le logiciel COMSIS	4
I.2.1 Interface COMSIS :.....	4
A. La fenêtre principale :	4
B. La fenêtre alphanumérique.....	5
C. La bibliothèque :.....	5
I.2.2 les différents types d'analyse :	6
a) Analyse statistique	6
b) Réponse fréquentielle	6
c) Simulation temporelle.....	6
I.2.3. La visualisation et le traitement des résultats.....	6
II.2.3.1. Le diagramme de l'œil	8
I.3. Simulation et évaluation d'une chaîne de transmission.....	8
I.3.1. Etude d'une chaîne de transmission optique.....	8
A. Bloc d'émission	9
A.1. Les données électriques.....	9
A.2. le laser	9
B . Support de transmission :la fibre optique	11
C. Bloc de réception	12
I.3.2. Simulation et interprétation des résultats	12
I.3.2.1 bloc d'émission	12
A. Choix de la longueur d'onde à la sortie du laser	12
B. Effet du débit à la sortie de la liaison	15
II.3.2.2. Bloc de transmission :la fibre optique	19
A. Effet de la longueur de la fibre sur la transmission.....	19
B. Influence des effets non linéaires (effet Kerr, Raman) sur la transmission	21
C. Influence de l'atténuation sur la transmission.....	23

Table des matières

II.3.2.3. Bloc de réception	25
A. Choix de type de photo-détecteur	25
Conclusion.....	27
Chapitre II: Optimisation d'une chaine de transmission à haut débit	
II.1. Introduction	28
II.2. Pourquoi la Modulation de type externe ?.....	28
II.3. Bloc d'émission	28
II.3.1. Le modulateur externe MEA	28
II.3.3. Le Courant	30
II.4. Bloc de transmission.....	31
II.5. Bloc de réception	32
II.5.1. Amplificateur électrique	32
II.5.2 Opérateur de décision	33
II.5.3. L'horloge.....	33
II.5.4. Retard de synchronisation.....	33
II.6.1 Résultat de simulation de la chaine de référence 40Gb/s	34
II.6.2. Optimisation de la longueur de la fibre de compensation.....	36
II.6.3. Optimisation au niveau du modulateur MEA et la diode PIN	37
1. Optimisation au niveau du modulateur MEA	37
2. Photodiode PIN en réception	39
II.7. Simulation de la chaine de transmission optimisée	41
II.8 Resultats et discussion	42
Conclusion.....	43
Conclusion générale	44
Les références bibliographiques.....	45

Introduction générale

Aujourd'hui, les systèmes de télécommunication représentent un ensemble d'information dont l'évolution est très rapide grâce à l'apparition des nouveaux systèmes de communication. Ces informations peuvent être sous forme analogique ou numérique (voix, caméra vidéo, fichier électronique) et être transmises par divers supports de transmission (fibre optique, câbles coaxiaux, faisceaux hertziens) vers différents blocs de réception (haut-parleur, écran d'ordinateur ou de portable).

Le développement des nouveaux services du multimédia, les données transmises par câble en cuivre ne sont pas importantes en termes du débit pour une transmission à longue distance. Par contre, la fibre optique répond à ces critères.

C'est ainsi que la fibre optique après avoir remplacé le câble coaxial est devenu l'un des moyens les plus utilisés pour transporter tout type de données audio vidéo internet à haut débit. La fibre optique est un câble qui contient un fil de verre ou en plastique conduisant la lumière, qui sera interprété à sa réception, elle permet la transmission des données sur des réseaux informatiques la fibre optique est l'élément essentiel d'une liaison optique car c'est elle qui permet le transport d'information.

Dans les années 1970, les premières fibres présentaient une atténuation de 20 dB/ km mais aujourd'hui, avec une atténuation de 0.2 dB/km autour de 1550 nm pour une fibre optique monomode. La fibre optique présente de nombreux avantages par rapport aux autres supports de transmission en termes de performance de transmission grâce à son débit élevé, sa grande bande passante et sa faible atténuation, La fibre optique présente aussi une sécurité électrique et électromagnétique, ce qui explique son utilisation croissante dans les domaines de télécommunication optiques.

Pour mieux comprendre son fonctionnement il est préférable de connaître sa description en détail. Elle est formée de trois composants : le cœur de la fibre, la gaine et enfin une protection externe. Le cœur permet de transmettre les données en utilisant la réfraction de la lumière quand à la gaine elle n'est pas utilisée pour la transmission des données et enfin la protection externe qui permet une utilisation et une manipulation facile de la fibre.

Il existe deux types de fibres optiques : la fibre monomode et la fibre multimode. La fibre monomode a un diamètre de cœur plus petit et est utilisée pour les longues

Introduction générale

distances et haut débit tandis que les fibres multimodes ont un diamètre très large et sont utilisés pour les courtes distances et bas débit. la fibre optique est caractérisé par ses effets non linéaires et linéaires.

La réalisation des systèmes de télécommunication optiques nécessite la conception des composants optoélectronique assez performants capables d'envoyer et de traiter les signaux optiques par des composants purement optique dont nous avons les émetteurs de la lumière (Diode Laser et Diode LED) et les photorécepteurs (photodiode PIN ,photodiode idéale et Avalanche).Les émetteurs convertissent les données électriques en données optiques et les photorécepteurs en données électrique.

Dans les domaines de télécommunications optiques pour transmettre l'information il faut envoyer le signal sous forme de lumière dans la fibre d'où la modulation.il existe deux types de modulation : la modulation directe et la modulation externe.

L'étude de ce mémoire est de connaitre le rôle des différents paramètres dans une chaine de transmission optique à travers plusieurs simulations à l'aide du logiciel COMSIS qui nous permet d'évaluer la qualité de transmission.

Ce mémoire est subdivisé en deux parties.

La première partie est consacrée sur la présentation du logiciel COMSIS, la simulation des paramètres d'une chaine basée sur la modulation directe et l'interprétation de ces résultats.

La deuxième partie est basée sur la présentation des résultats de l'optimisation d'une chaine de transmission optique à haut débit par la modulation externe.

En fin une conclusion qui résume les différents résultats obtenus.

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

I.1. Introduction

Le développement, toujours, croissant des systèmes de télécommunications en introduisant de plus en plus des composants plus au moins complexes qui demande une grande précision pour leur intégration dans les systèmes déjà existants en réalité, est accompagné d'une importante évolution des outils informatiques qui réduisent les frais, le temps et les difficultés expérimentales en permettant la conception, la simulation et la visualisation des performances atteintes en pratique par l'utilisation des logiciels très performants tel que le simulateur COMSIS (Communication System Interactive Software) retenue pour notre étude.[1]

La réalisation d'un système de transmission en télécommunication est basée sur plusieurs critères dont nous avons le débit, la distance de propagation et la bonne qualité de transmission. En effet la dispersion chromatique est un phénomène qui influe sur la performance du signal sachant que les phénomènes de dispersion des fibres optiques ne sont pas faciles à mettre en évidence expérimentalement et qu'en revanche, l'origine et les conséquences de ces phénomènes peuvent être décrites par des outils de simulation par des ordinateurs.

Le but de ce chapitre est d'étudier les paramètres d'une chaîne de transmission par fibre optique. Notre choix a été fait sur trois paramètres pertinents ; le débit, la longueur de la fibre et la photodiode à la réception.

En simulation on a utilisé les blocs suivants :

- Bloc d'émission : le débit
- Bloc de transmission : la longueur de la fibre ainsi que les différents effets linéaires et non linéaire
- Bloc de réception : différents types de photodiode

À l'aide du logiciel COMSIS nous permettons la visualisation d'un signal et aussi mesurer la qualité de sa transmission tout en optimisant les performances de la liaison, ce dernier nous permet d'étudier des modèles pour les composants électroniques et optoélectronique qui donnent finalement des résultats similaires de la réalité.

I.2. Le logiciel COMSIS [2]

COMSIS est un logiciel de simulation de n'importe quelle chaîne de télécommunications avec ses différents modules des plus élémentaires au plus complet en se basant sur des schémas blocs des systèmes analogiques ou numériques. Ce simulateur est développé par une société française, IPSIS (Ingénierie Pour Signaux et Systèmes), basé sur la technopole de Renne. COMSIS offre la possibilité de constituer des bibliothèques à partir de programmes externes ou par association de modèles standard. Il représente une solution complète au problème de la modélisation et de la simulation. Ses principales fonctionnalités sont :

- Analyse statistique ;
- Analyse spectrale ;
- Synthèse de filtres analogiques et numériques ;
- Simulations linéaire et non linéaire
- Etudes paramétriques.

I.2.1 Interface COMSIS :

L'interface COMSIS comporte une fenêtre principale et une fenêtre alphanumérique.

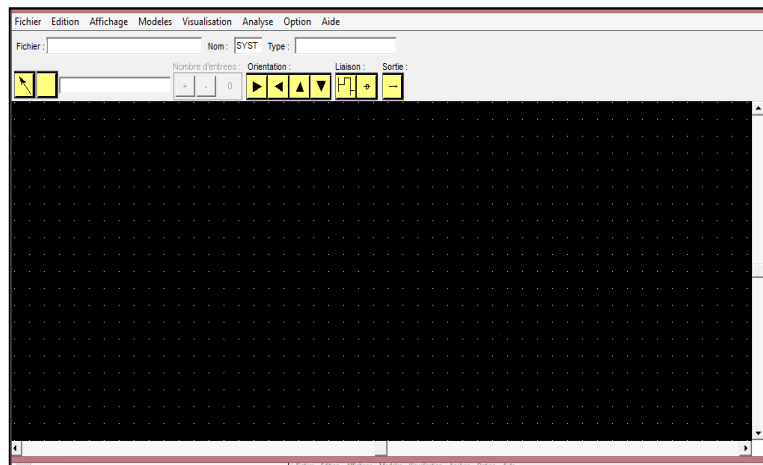


Figure I.1 : Interface COMSIS

A. La fenêtre principale :

Rassemble les deux types de fonctions de COMSIS, les fonctions d'édition de schémas-blocs et les fonctions de traitements.

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

La figure I.2 illustre un exemple d'éditeur de schéma bloc :

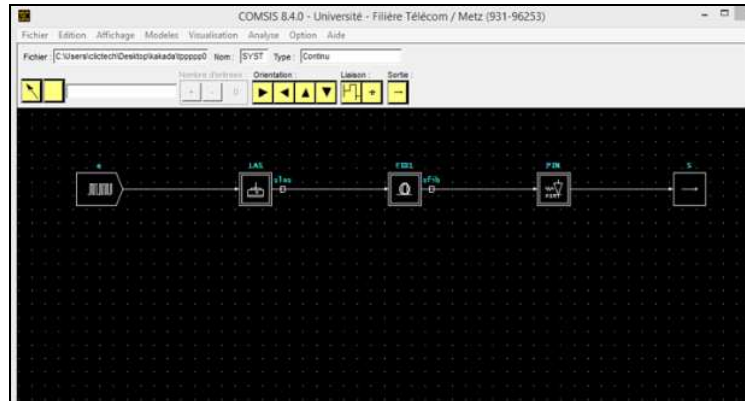


Figure I.2 : Editeur du schéma bloc

B. La fenêtre alphanumérique

Elle est utilisée à l'annonce d'une analyse pour insérer des paramètres de simulation et aussi afficher l'ensemble des messages ou informations édités, ou sur demandes, par le logiciel au cours de son exécution.

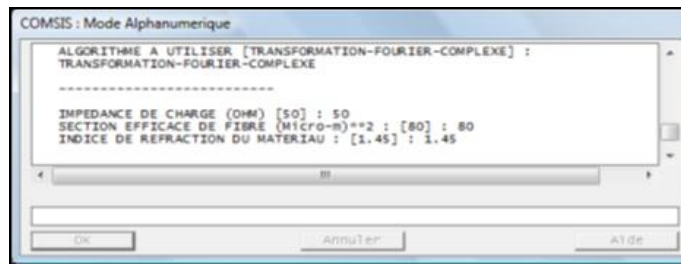


Figure I.3 : Fenêtre alphanumérique

C. La bibliothèque :

Elle comporte tous types de modèles qui permettent de réaliser les différents schéma blocs : entrées, régénérateurs, codeurs, modulateur, filtres

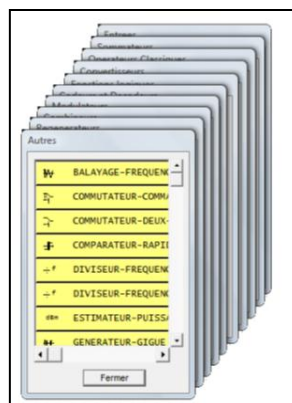


Figure I.4 : Bibliothèque du modèle COMSIS

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

I.2.2 les différents types d'analyse :

Après la conception du schéma-bloc, COMSIS peut effectuer plusieurs types d'analyse (statique, stabilité, transfert de boucle...) D'un opérateur fonctionnel, d'un composant, de la liaison entière ou partielle permettant de visualiser leurs performances ou leurs caractéristiques.

Dont nous allons essayer d'expliquer et définir quelque'une des analyses.

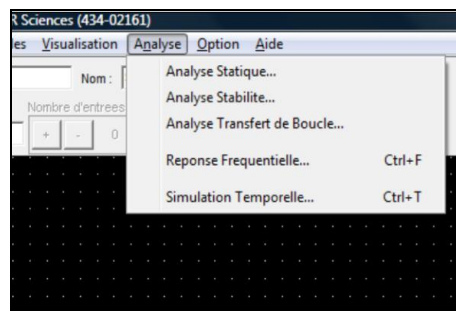


Figure I.5 : Menu d'analyse

a) Analyse statistique

Elle permet la visualisation des courbes caractéristiques d'un certain modèle

b) Réponse fréquentielle

Elle permet le calcul de la réponse fréquentielle d'un opérateur de filtrage

c) Simulation temporelle

La commande Simulation Temporelle du menu Analyse permet de déterminer la réponse d'un système à des signaux dans le domaine temporel. Dans ce cas elle permet l'analyse du signal envoyé pendant sa transmission. Cette dernière permet d'afficher, la fenêtre d'Evaluation des Performances propose différents traitements sur les variables simulées.

I.2.3. La visualisation et le traitement des résultats

Pendant la simulation, un écran de contrôle permet de guider l'état d'amélioration des calculs. A la fin de la simulation, la fenêtre d'évaluation des performances propose plusieurs possibilités.

La fenêtre d'évaluation des performances est donnée par la figure I.6 :

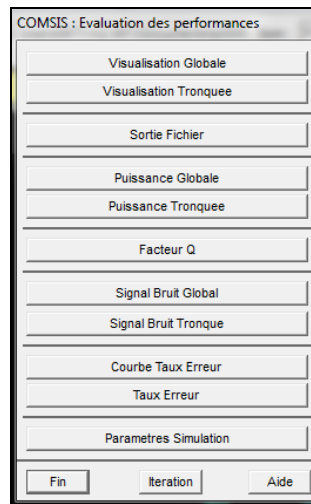


Figure I.6 : Fenêtre d'évaluation des performances

❖ Visualisation des résultats de simulation

La commande Visualisation affiche les variables calculées, soit directement dans le domaine temporel, soit après qu'elles aient subi un prétraitement. Lorsque cette commande est activée, la fenêtre Variables et Prétraitements apparaît et donne accès aux choix de ces traitements à effectuer et des variables simulées sur lesquels les effectuées

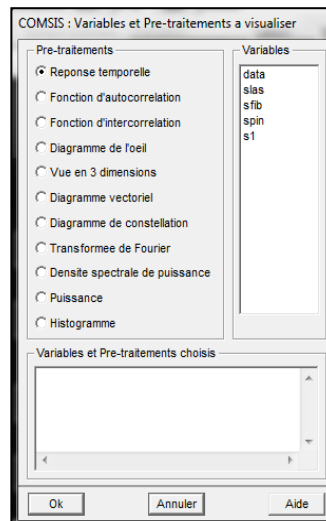


Figure I.7 : fenêtre variable et prétraitement a visualisée

Par la suite nous allons essayer de détailler quelques-uns de ces variables : la réponse temporelle, le diagramme de l'œil, le facteur de qualité

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

II.2.3.1. Le diagramme de l'œil [3]

Le diagramme de l'œil qui représente la superposition synchrone de tous les symboles binaires de la séquence transmise. Ce diagramme dépend du type de codage utilisé. En simulation, on utilise une technique identique qui repose sur la connaissance d'une variable d'horloge de synchronisation, utilisée pour générer la base de temps appropriée. COMSIS offre la possibilité de faire des mesures quantitatives sur les diagrammes de l'œil : ouverture horizontale, ouverture verticale, taux d'extinction, hauteur de l'œil, facteur Q, position des intersections, largeur de l'œil, gigue...

I.2.3.1.a. Détermination du facteur Q

La détermination du facteur de qualité se fait par le calcul des niveaux moyens du signal bruité, les écarts-types sur la transmission des niveaux hauts et des niveaux bas pour donner le facteur Q.

I.2.3.1.b. Taux d'erreur sur les bits

Le critère qui quantifie le mieux la qualité de transmission est le Taux d'erreurs binaire (TEB, ou BER pour Bit Error Rate) qui représente la probabilité d'une prise de décision erronée sur un élément binaire.

I.3. Simulation et évaluation d'une chaîne de transmission

Pour évaluer la qualité d'une transmission optique, trois critères sont définis. Les trois critères principaux sont le taux d'erreur binaire, le diagramme de l'œil et le facteur de qualité.

I.3.1. Etude d'une chaîne de transmission optique

Dans son synoptique le plus général et le plus simple possible, un système de Télécommunications optiques est donné par la chaîne :

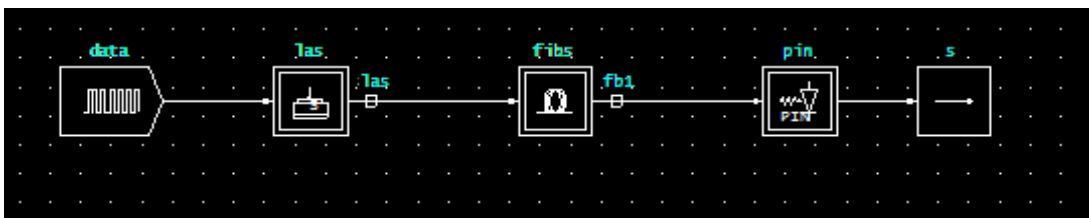


Figure I.8 : Editeur du schéma bloc

Les composants utilisés dans la bibliothèque COMSIS pour construire les différents blocs de la chaîne sont données par la suite de notre travail

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

A. Bloc d'émission

Le rôle de l'émetteur consiste à prendre l'information et la convertir en signal optique. il délivre à la fibre optique un signal optique modulé.

A.1. Les données électriques [4]

Ce modèle permet la génération d'un courant laser caractérisée sous la forme d'une séquence pseudo aléatoire qui représente les données à transmettre. Le signal, formé de créneaux prend uniquement deux valeurs : I_{min} et I_{max} qui représentent le courant dans le laser. Quand les données à livrer sont 0 ou 1 respectivement. Ce modèle est représenté par la figure ci-dessous :



Figure I.9 : Modèle de simulation du courant laser

Les paramètres du courant laser sont donnés par le tableau suivant :

COMSIS : Definition des parametres	
Generales	
Nom :	dat2
Nature :	COURANT-LASER
Groupe :	Composants Optiques
Type (en sortie) :	CONTINU
Caracteristiques	
DEBIT BINAIRE (Mbits/s) :	D
LONGUEUR DU REGISTRE :	4
COURANT MINIMUM (mA) :	25
COURANT MAXIMUM (mA) :	100
OK Annuler Aide	

FigureI.10 : Bloc des paramètres du laser

A.2. le laser

Le composant de la bibliothèque COMSIS qui sera utilisé est l'opérateur Laser système est donné par la figureI.11 :

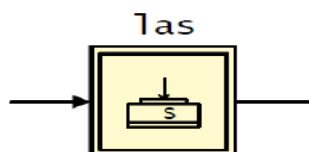


Figure I.11: Bloc de simulation du laser

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

Les données codées de chaque utilisateur sont modulées directement au niveau du module laser via le courant d'entrée (figure I.12)

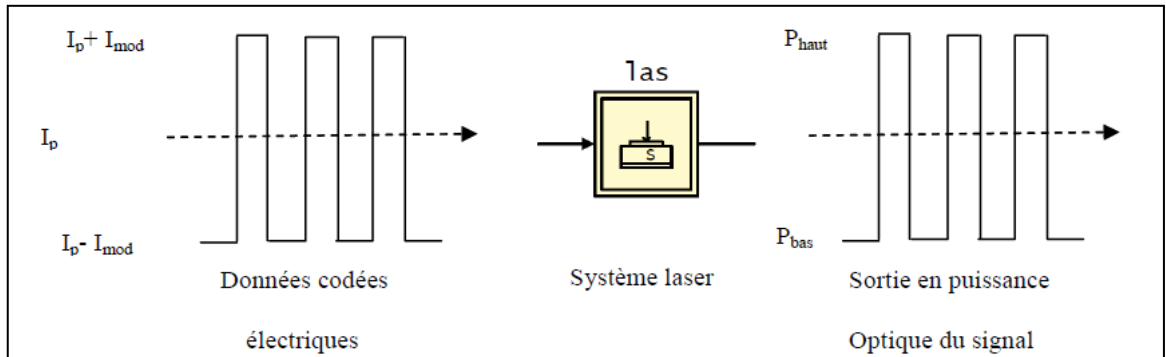


Figure I.12 : Modulation directe avec laser –système

Pour un bon fonctionnement du laser, on doit conserver en permanence une polarisation (I_p) au-dessus du courant du seuil du laser. En effet, avoir un des niveaux de modulation ($I_p - I_{mod}$) en dessous du seuil signifie alterner un état allumé et un état éteint du laser (fonctionnement impulsionnel), alterner l'émission stimulée et l'émission spontanée. Or l'émission spontanée nécessite un temps de réponse de plusieurs nanosecondes et limite donc le débit de transmission.[4]

Les paramètres du laser système sont illustrée dans la figure (I.13)

Figure I.13. Éditeur du laser

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

L'analyse statique du laser après simulation est donnée par la figure suivante :

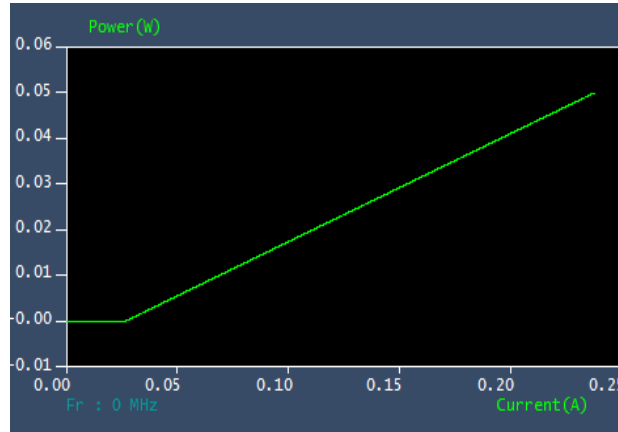


Figure I.14 :Analyse statique du laser

B . Support de transmission :la fibre optique

Le support de transmission utilisé est la fibre optique monomode. Il permet d'introduire les effets non linéaires tels que l'effet Kerr et Raman. Elle est représentée par le modèle suivant :

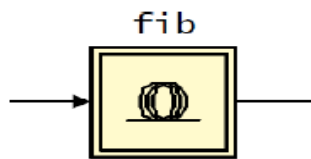


Figure I.15: Modèle de simulation de la fibre optique

Les caractéristiques de la fibre optique sont données dans le figure suivante

COMSIS : Définition des paramètres	
Generalites	
Nom :	fib
Nature :	FIBRE-OPTIQUE-MONOMODE
Groupe :	Composants Optiques
Type (en sortie) :	CONTINU
Caracteristiques	
Longueur de la fibre (km) :	L
Coefficient d'attenuation (dB/km) :	0.25
Dispersion chromatique (ps/nm/km) :	Constante 17
Effet Kerr :	<input checked="" type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non
Effet Raman :	<input type="radio"/> Oui <input checked="" type="radio"/> Non
Coefficient de non linearite de la fibre (m ² /W) :	3.2e-20
Gain Raman (m ² /W) :	7.48e-21
Frequence de resonance (THz) :	12
Demi-largeur de raie Raman (THz) :	6.432
Aire effective de la section de la fibre (micro m ²) :	80
Type de discretisation de la longueur :	<input checked="" type="radio"/> Fixe <input type="radio"/> Variable
Valeur du pas (km) :	1
Valeur initiale du pas (km) :	
Dispersion Modale de Polarisation :	<input type="radio"/> Oui <input checked="" type="radio"/> Non
Birefringence lineique (ps/km) :	
Longueur de couplage (km) :	
Etat de la fibre :	
Retard introduit par la fibre (ns) :	4e-3

Figure I.16 : Editeur de la fibre monomode

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

Remarque : le logiciel COMSIS n'utilise que la fibre monomode.

C. Bloc de réception

Le modèle utilisé en réception est la photodiode PIN

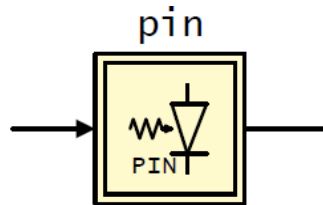
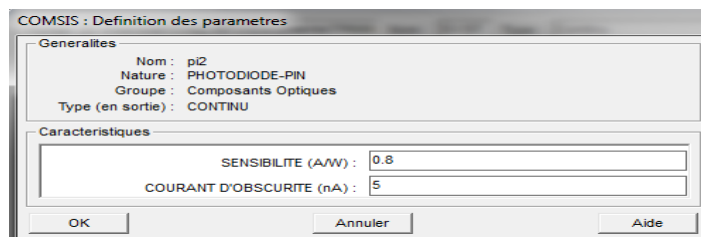


Figure I.17 : Modèle de simulation de la diode pin

Les paramètres de la photodiode PIN sont les suivants :



FigureI.18 : Bloc photodiode PIN

I.3.2. Simulation et interprétation des résultats

I.3.2.1 bloc d'émission

A. Choix de la longueur d'onde à la sortie du laser

Tout d'abord nous allons procéder par le choix de la longueur à travers différentes simulations avec diverses valeurs de la longueur d'onde qui sont illustrés par la figure ci-dessous. Ces simulations ont été faites pour un débit fixe de 1 Gb/s sur une fibre de longueur 100 km.

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

La figure suivante montre les différentes fenêtres de transmissions optique .

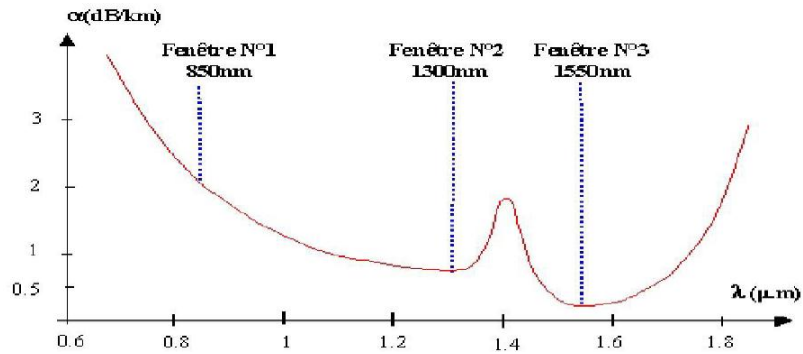


Figure I.19: Fenêtres de transmission optiques [5]

❖ Résultats de simulation pour : $\lambda=1550\text{nm}$, $D=1\text{Gbit/s}$ $L=100\text{km}$

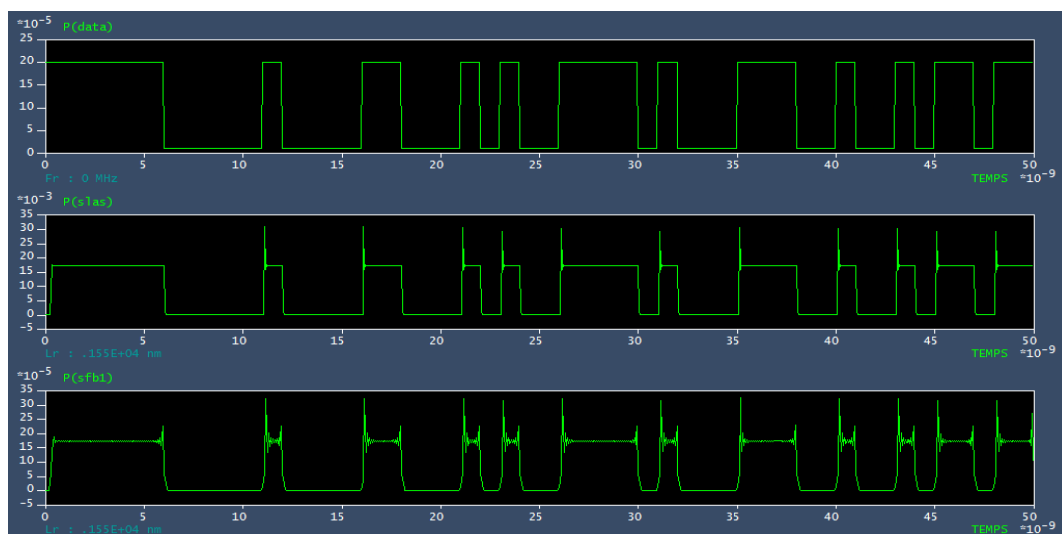


Figure I.20 : résultats de simulation pour 1550nm

❖ Résultats de simulation pour $\lambda=1330\text{nm}$, $D=1\text{Gbit/s}$, $L=100\text{km}$

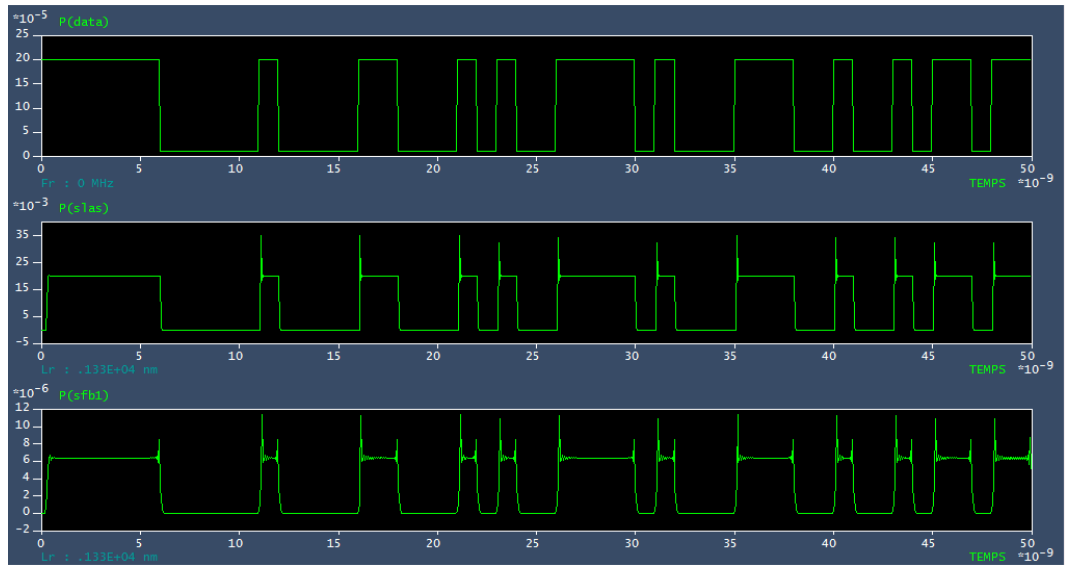


Figure I.21 : résultats de simulation pour 1330nm

❖ Résultats de simulation pour $\lambda=1600\text{nm}$; $D=1\text{Gbit/s}$, $L=100\text{ km}$

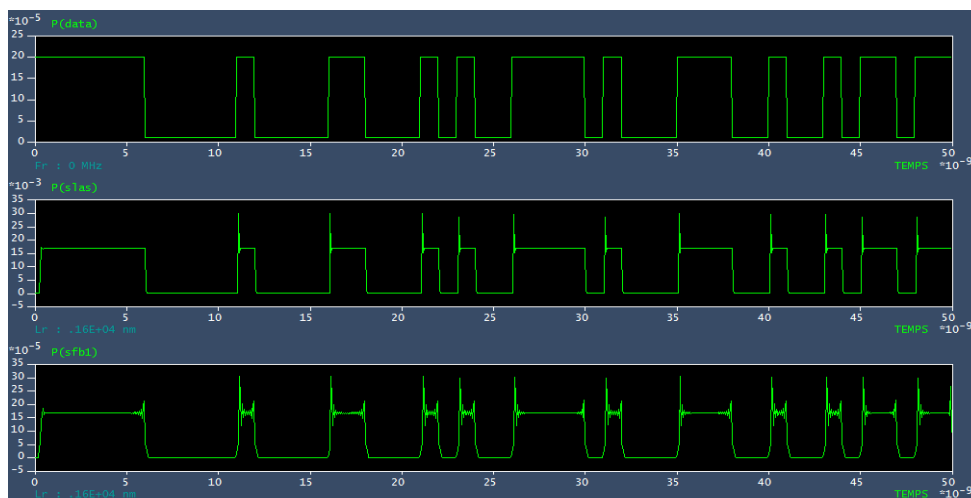


Figure I.22 : résultats de simulation pour 1600nm

D'après les trois graphes, on remarque que pour les longueurs 1550nm et 1600nm la puissance optique est de $17.10e^{-5}$ watt tandis que pour la longueur 1330nm celle-ci diminue progressivement jusqu'à $6.10e^{-5}$ watt. Comme nous le montre la figure ci-dessus la 3^{ème} fenêtre à 1550nm a une atténuation faible d'environ 0.2dB/km et est utilisée généralement pour les systèmes de télécommunications pour des longues distances à haut débit ; on voit d'après ces résultats que notre choix de $\lambda=1550\text{nm}$ a été confirmé. On a utilisé la même longueur d'onde pour la suite de notre simulation.

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

B. Effet du débit sur la transmission

Comme nous l'avons dit précédemment pour avoir une bonne transmission il faut évaluer les performances du système étudié qui sont entre autre le facteur de qualité et le diagramme de l'œil, la visualisation de cela n'est possible qu'avec l'introduction d'un filtre passe-bas en cosinus surélevé dans notre chaîne de transmission optique.

Sachant que les normes fixées dans le domaine des Télécommunications demandent, pour maintenir la qualité de transmission, un facteur Q supérieur à 6 ce qui correspond à un taux d'erreurs binaire BER inférieur à 10^{-9} . [6]

Pour cela plusieurs simulations ont été faites pour différentes variations du débit afin de montrer la qualité de transmission.

La nouvelle chaîne de simulation est la suivante :

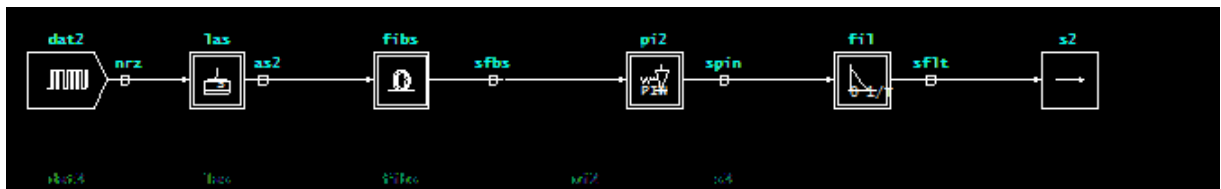


Figure I.20. Schéma d'une chaîne de transmission incluant le filtre

L'utilisation du filtre cosinus surélevé à la réception dans une chaîne optique permet de réaliser une forme d'impulsion Nyquist c'est à dire qu'il vérifie le critère de Nyquist qui dit : une chaîne de transmission est considérée comme idéale lorsqu'elle ne fait pas apparaître d'interférences entre les symboles transmis, ils sont donc indépendants [3].il introduit un retard de propagation du signal dans la chaîne pour obtenir une mesure exacte du TEB en simulation.

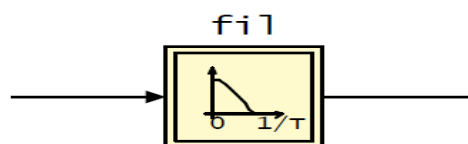


Figure I.21 ; Modèle de la simulation du filtre

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

La réponse fréquentielle du filtre est donnée par la figure suivante :

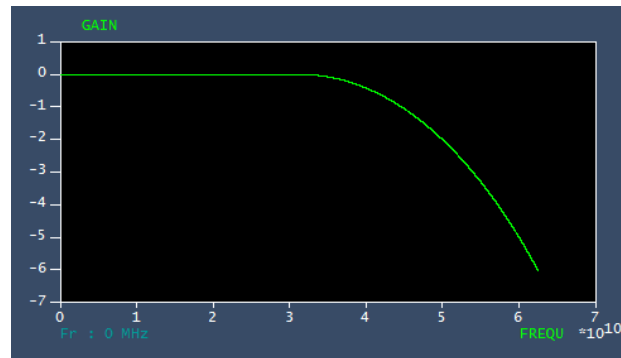


Figure I.22 : réponse fréquentielle du filtre

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

➤ Résultats de simulation pour différentes variations du débit avec une longueur de fibre fixe $L=100\text{km}$.

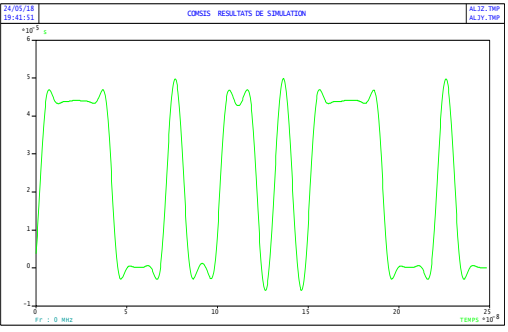
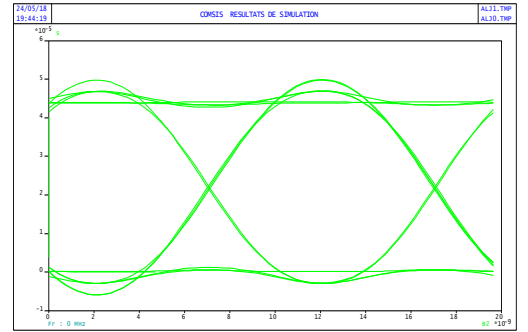
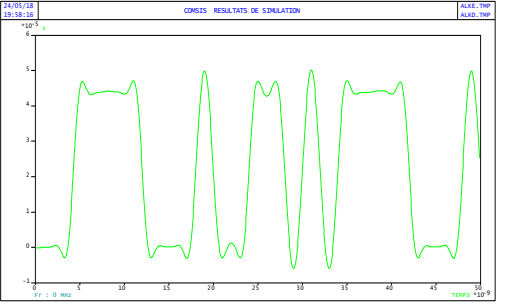
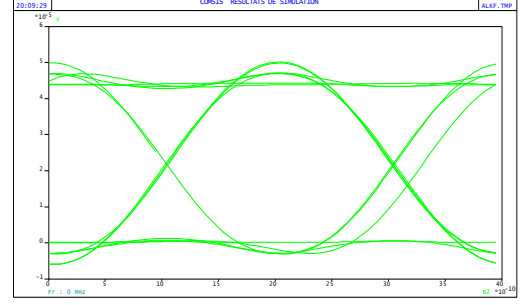
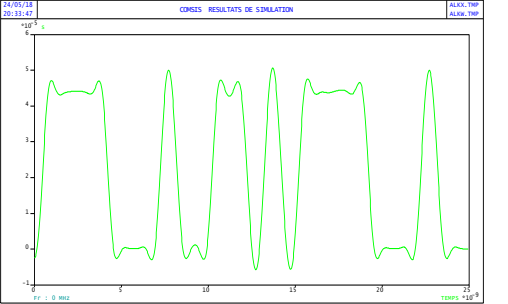
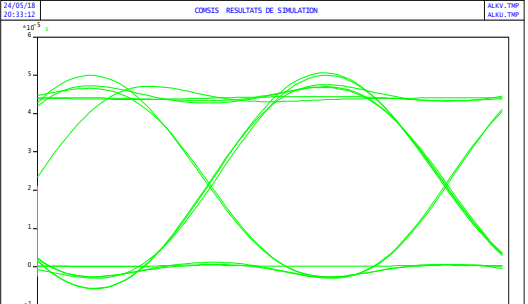
Sortie de la liaison(bloc S)	Diagramme de l'œil	Débit et facteur de qualité Q
 <p>a-</p>	 <p>b-</p>	<p>D=100Mb/s</p> <p>Q=15.6</p>
 <p>c-</p>	 <p>d-</p>	<p>D=500Mb/s</p> <p>Q=15.5</p>
 <p>e-</p>	 <p>f-</p>	<p>D=1Gb/s</p> <p>Q=15.4</p>

Figure I.23. a : Diagramme de l'œil pour différents débits

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

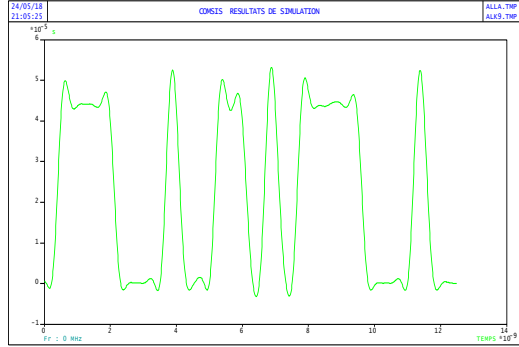
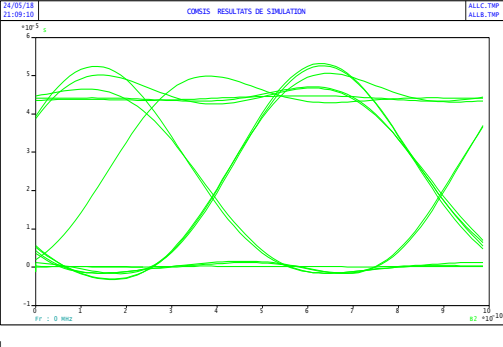
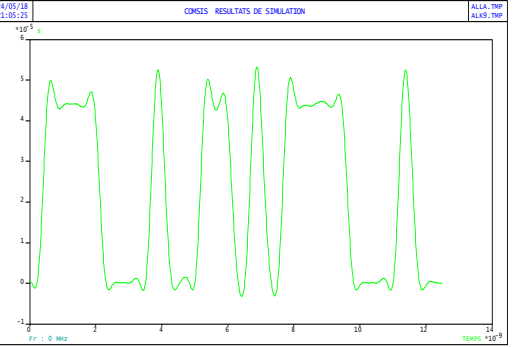
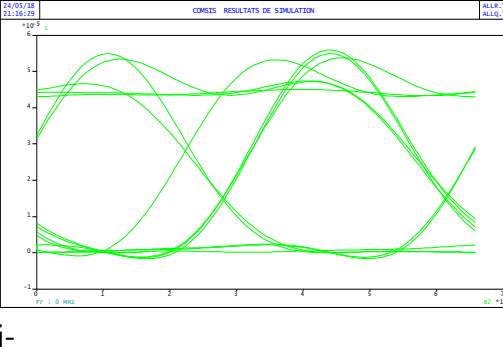
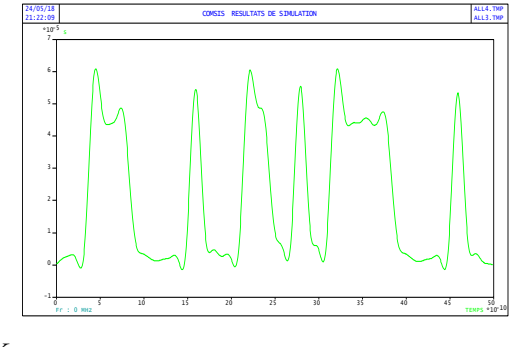
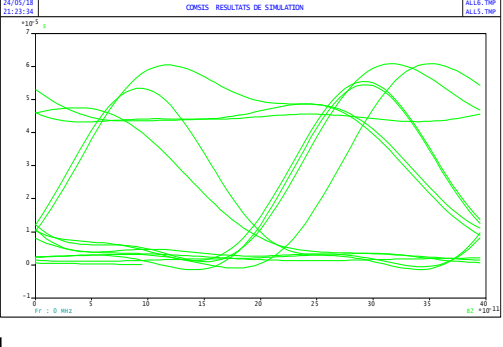
Sortie de la liaison (bloc S)	Diagramme de l'œil	Débit et facteur de qualité Q
 <p>g-</p>	 <p>h-</p>	<p>D=2Gb/s</p> <p>Q=12.5</p>
 <p>i-</p>	 <p>j-</p>	<p>D=3Gb/s</p> <p>Q=9.52</p>
 <p>k-</p>	 <p>l-</p>	<p>D=5Gb/s</p> <p>Q=4.37</p>

Figure I.23.b : Diagramme de l'œil pour différents débits

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

D'après les résultats des différentes simulations nous remarquons que le débit est contrairement relatif à la qualité de la transmission du signal, plus le débit augmente plus la valeur du facteur de qualité à la sortie du signal devient faible. Enfin nous pouvons constater d'après les diagrammes de l'œil obtenu qu'avec un débit minimum, l'effet de la dispersion devient plus faible et l'œil s'ouvre, l'ouverture de l'œil montre la qualité de la transmission à la sortie du signal.

II.3.2.2. Bloc de transmission : la fibre optique

A. Effet de la longueur de la fibre sur la transmission

Les résultats de simulations pour un débit fixe égale à 1Gb/s avec une longueur de fibre variable :

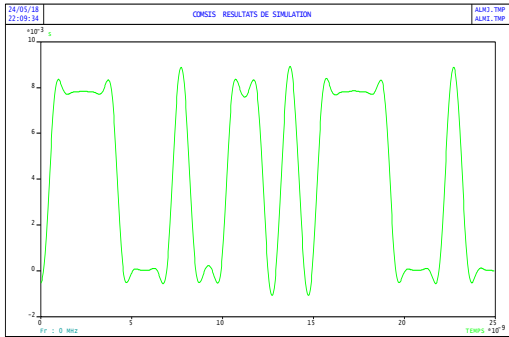
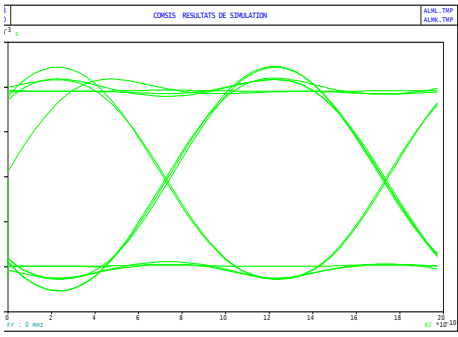
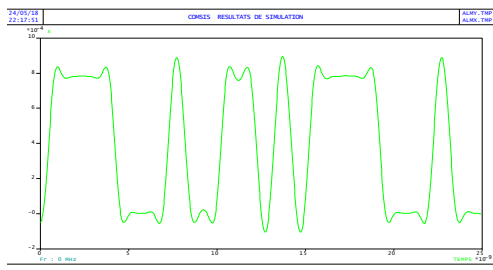
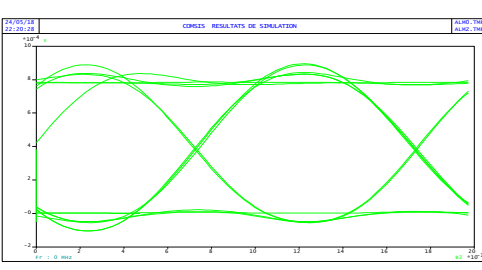
Sortie de la liaison s	Diagramme de l'œil	L(km) et Q
 <p>a-</p>	 <p>b-</p>	<p>L=10 km</p> <p>Q=15.5</p>
 <p>c-</p>	 <p>d-</p>	<p>L=50</p> <p>Q=15.5</p>

Figure I.24.a : allure et diagramme de l'œil à la sortie du signal pour différentes longueurs de la fibre

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

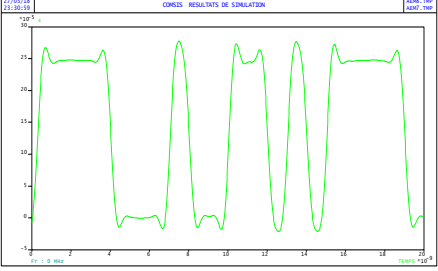
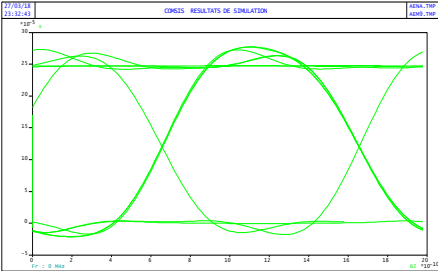
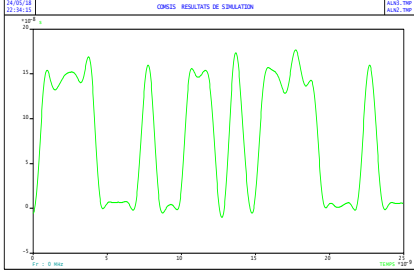
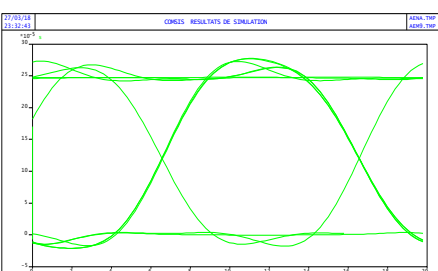
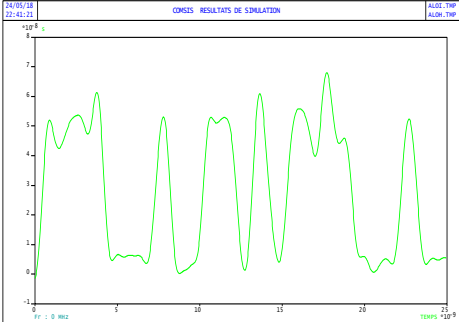
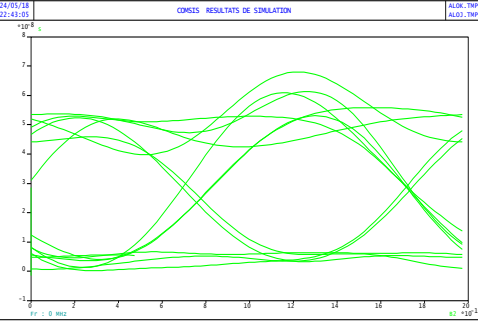
Sortie de la liaison (bloc S)	Diagramme de l'œil	L(km) et facteur de qualité Q
		<p>L=100</p> <p>Q=15.5</p>
		<p>L=200</p> <p>Q=10.1</p>
		<p>L=220</p> <p>Q=6.64</p>

Figure I.24.b : allure et diagramme de l'œil à la sortie du signal pour différentes longueurs de la fibre

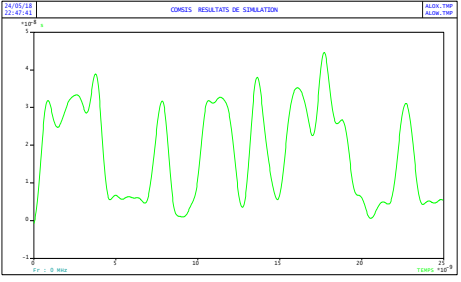
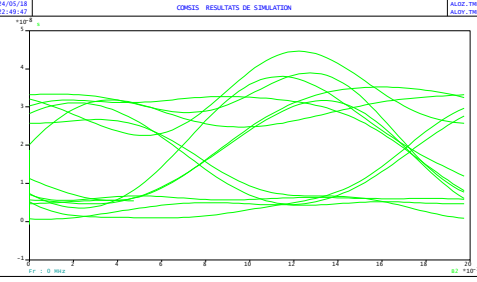
Sortie de la liaison (bloc S)	Diagramme de l'œil	L(km) et Facteur qualité Q
		<p>L=230</p> <p>Q=4.47</p>

Figure I.24.c : allure et diagramme de l'œil à la sortie du signal pour différentes longueurs de la fibre

D'après les résultats obtenus nous remarquons que la longueur de la fibre est inversement proportionnelle à la qualité de transmission du signal. D'après ces résultats on voit que si la longueur de la fibre augmente alors les effets de la dispersion chromatique augmentent à leurs tours ce qui entraînent une mauvaise qualité du signal à la réception. Pour y remédier à ces dégradations du signal une fibre compensatrice de dispersion a été inséré après la fibre SMF qui sera discuté dans le prochain chapitre d'optimisation dans le but d'avoir une bonne qualité du signal en réception.

B. Influence des effets non linéaires (effet Kerr, Raman) sur la transmission

Selon le schéma suivant nous avons effectués une simulation avec un débit binaire fixe de 1Gbit/s, avec une photodiode de sensibilité du courant (0.8 A/w) et une longueur de fibre fixé à 100 Km.

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

Le schéma bloc est donnée par la figure I.25

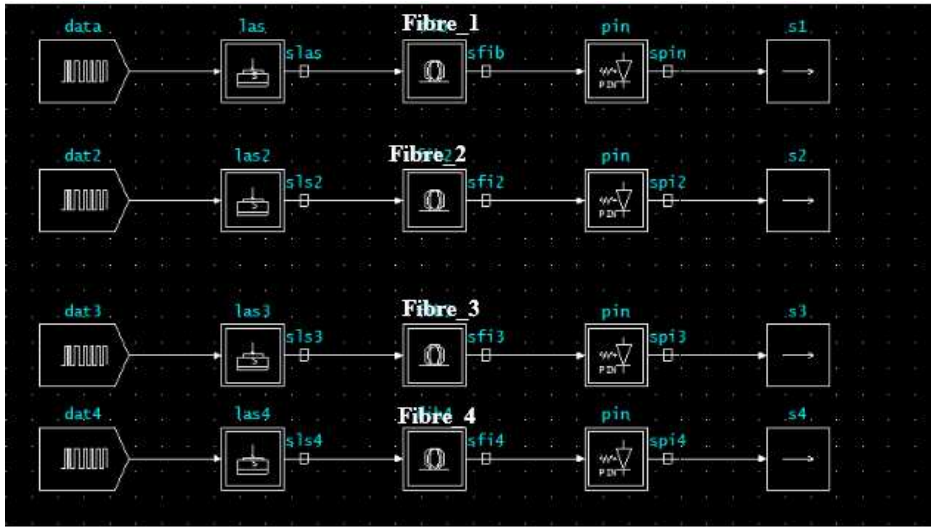


Figure I.25 : Chaîne de transmission optique variant les effets non linéaires

Pour visualiser l'effet Kerr, et l'effet Raman sur le long de la chaîne on joue sur les caractéristiques de la fibre séparément :

- ❖ Fibre_1 : L'ajout des deux effets Kerr et Raman simultanément
- ❖ Fibre_2 : L'ajout de l'effet Kerr seul
- ❖ Fibre_3 : L'ajout de l'effet Raman seul
- ❖ Fibre_4 : sans aucun effet

Résultats de simulation obtenus sont comme suit :



Figure I.23 : résultats de simulation sur chaque effet

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

D'après les différents résultats obtenus nous constatons qu'il n'y a eu aucun changement au niveau de la puissance, celle-ci est restée intacte pour les différentes caractéristiques des fibres ; ainsi que nous remarquons quelques dégradations du signal au niveau de l'amplitude, de ce fait nous déduisons que les effets non linéaires entraînent des légères perturbations du signal en réception. Pour éliminer ces perturbations il est nécessaire d'utiliser un filtre optique adéquat en réception dans la chaîne de transmission.

C. Influence de l'atténuation sur la transmission

Selon le schéma suivant, une simulation est faite pour différentes valeurs de l'atténuation de la fibre optique avec un débit binaire fixe d'un 1 Gbit/s et une sensibilité de courant 0.8 A/W avec une longueur de 100 km. Ces résultats ont été évalués par l'utilisation du diagramme de l'œil et le facteur de qualité.

Les différentes atténuations pour les trois fibres sont :

- ❖ Fibre_1 avec $\alpha=0.2\text{db/km}$
- ❖ Fibre_2 avec $\alpha =0.6\text{db/km}$
- ❖ Fibre_3 avec $\alpha 0.8\text{db/km}$

Le schéma est donné par la figure I.26 suivante :



Figure I.26 : Chaines de transmission optique pour différentes atténuations

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

➤ Les résultats de simulation obtenus sont :

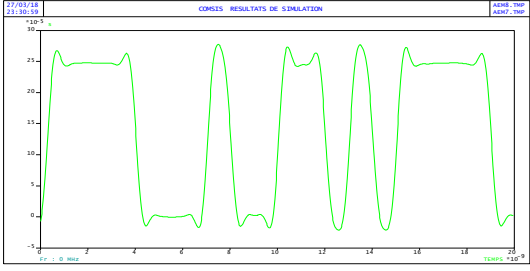
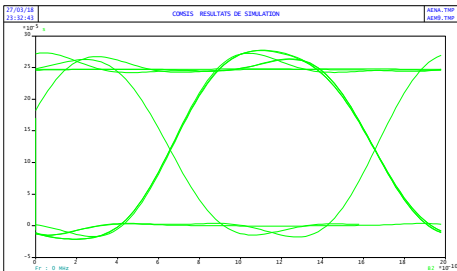
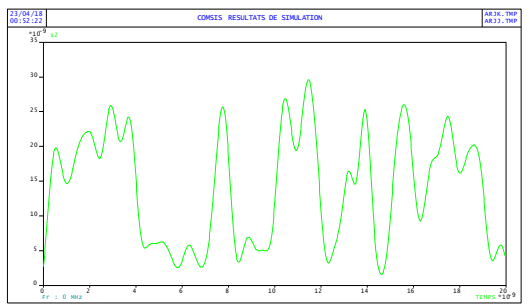
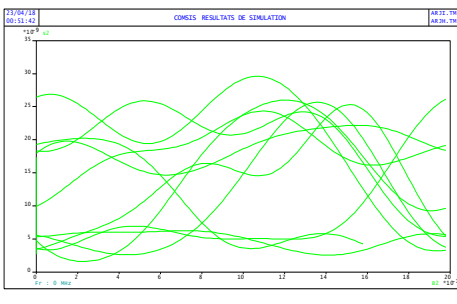
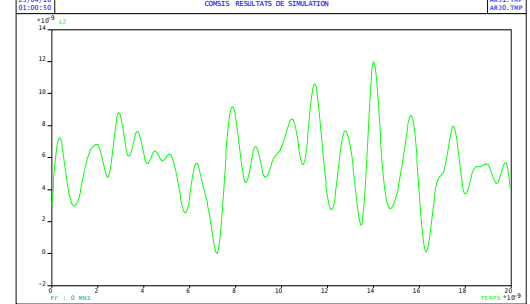
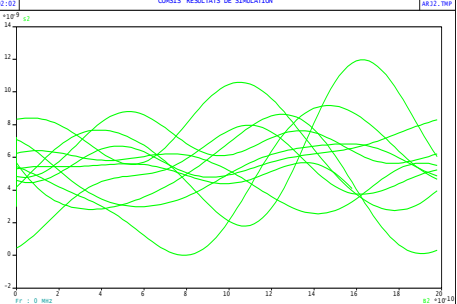
Sortie de la liaison (bloc S)	Diagramme de l'œil à la sortie s	Atténuation et facteur Q
<p>a-</p> 	<p>b-</p> 	<p>$\alpha = 0.2\text{db/km}$</p> <p>Q=16.5</p>
<p>c-</p> 	<p>d-</p> 	<p>$\alpha = 0.6\text{db/km}$</p> <p>Q=5.79</p>
<p>e-</p> 	<p>f-</p> 	<p>$\alpha = 0.8\text{db/km}$</p> <p>Q=1.79</p>

Figure I. 27 : allure et diagramme de l'œil pour différentes valeurs de l'atténuation

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

D'après les différentes simulations faites auparavant, nous remarquons que l'effet de l'atténuation est toujours présent c'est la raison pour laquelle la puissance du signal va diminuer soit qualitativement ou quantitativement.

Plus l'atténuation augmente plus l'œil se ferme d'où une dégradation du signal optique et une diminution excessive du facteur de qualité avec une déformation du signal à la sortie.

II.3.2.3. Bloc de réception

A. Choix de type de photo-détecteur

Pour choisir le type de photo-détecteur adéquat pour une bonne qualité de réception en transmission optique plusieurs simulations ont été faites avec différents types de photodiodes tels que la photodiode PIN, photodiode à avalanche et la photodiode idéale.

Ces expériences sont faites avec une valeur de sensibilité du courant égal à 0.8 A/w avec un débit de 1 Gb/s et sur une longueur de 100km.

Les résultats sont évalués par le diagramme de l'œil ainsi que la valeur du facteur de qualité.

Le schéma bloc de cette simulation est représenté suivant ci-dessous

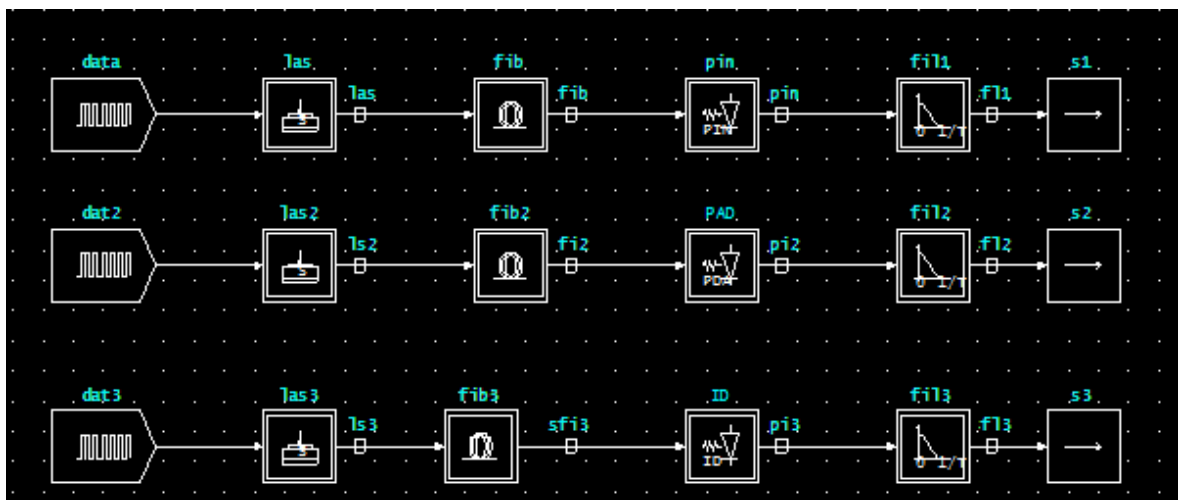


Figure I.28: chaînes de transmissions optiques pour différents photo-détecteurs

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

Les résultats sont donnés sur le tableau suivant :

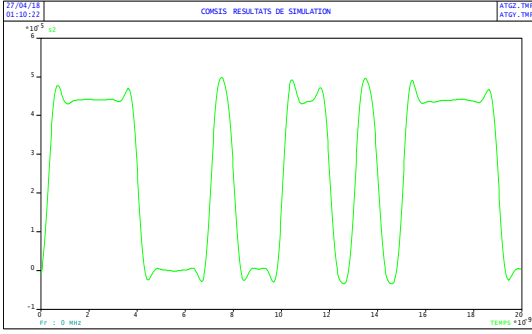
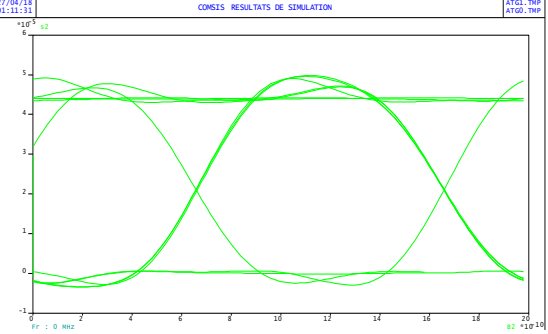
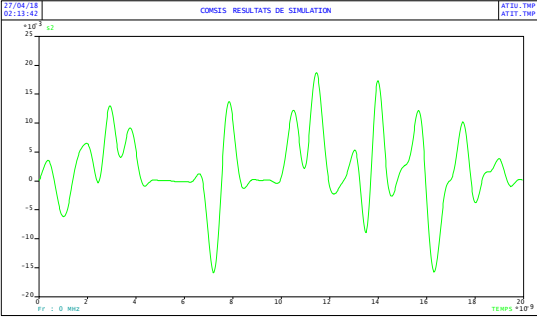
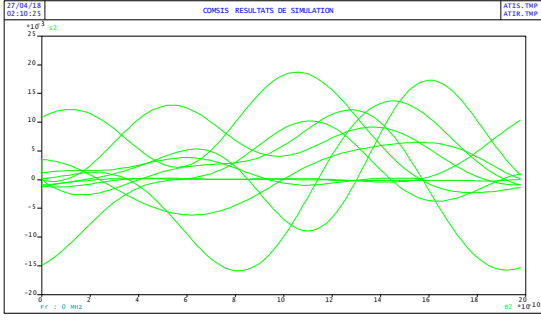
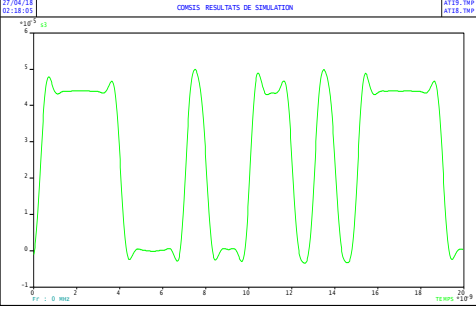
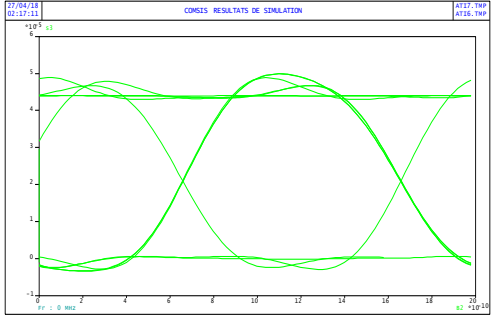
Sortie de la liaison (bloc S)	Diagramme l'œil	Type de photo-détecteur
 <p>a-</p>	 <p>b-</p>	<p>PIN</p> <p>Q=15.5</p>
 <p>c-</p>	 <p>d-</p>	<p>PAD</p> <p>Q=1.33</p>
 <p>e-</p>	 <p>f-</p>	<p>ID</p> <p>Q=15</p>

Figure I.29: diagramme de l'œil pour différents photo-détecteurs

Les différents résultats nous montrent que pour une bonne transmission optique l'utilisation d'une photodiode PIN ou ID est mieux utilisée que la photodiode à avalanche parce que cette dernière ajoute du bruit au signal ainsi qu'elle est utilisée pour des tensions élevées.

Chapitre I : Etude et simulation des paramètres d'une chaîne de transmission avec le logiciel COMSIS

Par comparaison (Figure I.30) on peut dire la PAD utilise des niveaux faibles de luminosité tandis que pour la PIN celle-ci utilise des niveaux élevés.

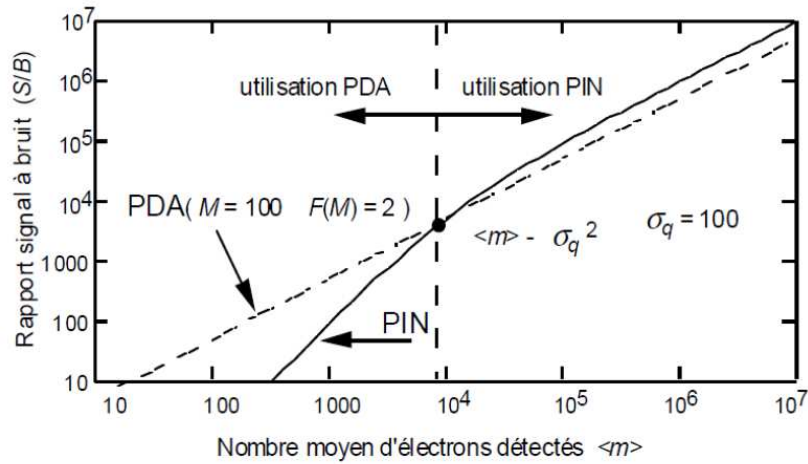


Figure I. 30 : Rapport signal à bruit en fonction de l' intensité du signal émis pour les photodiodes PDA et PIN [5]

Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté le logiciel COMSIS suivi de la simulation et l'étude des paramètres d'une chaîne de transmission optique de base. Parmi ces paramètres on a le débit binaire, la longueur et les différents effets linéaires et non linéaires (atténuation, effet Kerr, effet Raman...). Ces simulations ont été faites dans le but d'évaluer la qualité de la transmission du signal en utilisant le diagramme de l'œil et le facteur de qualité et de montrer la limite de la modulation directe.

Dans la deuxième partie on va présenter les résultats de l'optimisation des paramètres d'une chaîne de transmission optique à haut débit.

II.1. Introduction

Le chapitre précédent était consacré sur la simulation des différents paramètres d'une chaîne de transmission optique utilisée en télécommunication optique à savoir un émetteur relié à un support de transmission et un récepteur par la modulation directe ; Cette dernière présente beaucoup d'avantages mais elle est utilisée que pour des faibles débits et que les données sont modulées directement par le laser et peuvent dégrader le signal à la sortie. Afin de nous permettre d'améliorer les performances de transmission au-delà de 10Gbit/s et la stabilité du signal nous allons utiliser la modulation de type externe.

L'objectif de ce chapitre est la présentation des résultats de l'optimisation d'une chaîne de transmission à haut débit à 40Gbit/s par intervention au niveau de la longueur de la fibre ; modulateur externe (MEA) et de la diode PIN en utilisant le logiciel COMSIS.

II.2. Pourquoi la Modulation de type externe ?

La modulation de type externe qui autorise à moduler le signal lumineux en sortie du laser et non plus le courant d'alimentation à l'entrée du laser est utilisée afin d'aboutir à des transmissions hauts débits. Donc les déformations de la modulation directe qui affectent le laser ne seront plus présents sur le signal optique. Cette technique de modulation permet d'ajouter des nouveaux composants dans la chaîne de transmission optique.

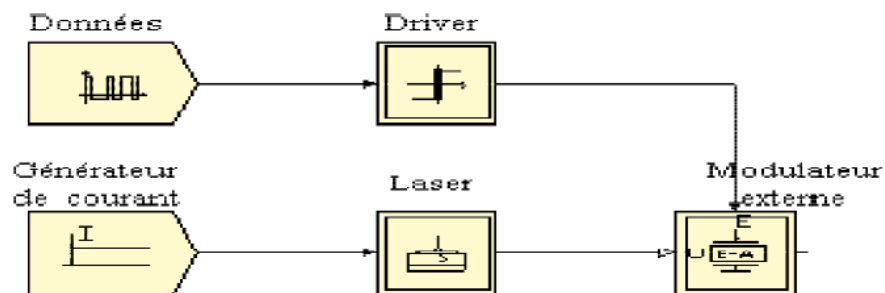


Figure II.1 : Schéma de la modulation externe

II.3. Bloc d'émission

Les différents composants ajoutés au niveau du bloc d'émission sont :

II.3.1. Le modulateur externe MEA

Il s'agit d'un opérateur à deux entrées : une première entrée qui contient la séquence des données à transmettre et une deuxième entrée qui contient le signal modulant.

Chapitre II : Optimisation d'une chaîne de transmission à haut débit

Le modulateur électro-absorbant est tout d'abord configuré de telle sorte que la modulation d'amplitude soit maximale afin de bien séparer les niveaux optiques lors de la transmission.

Le modulateur électro-absorbant disponible dans COMSIS est donné par la figure (II.2) ci-dessous :

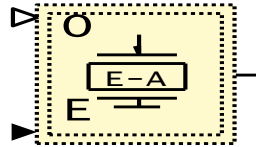


Figure II.2 : Modèle de simulation de modulateur electro-absorbant.

Les paramètres du MEA sont présentés dans la figure II.3 suivante :

COMSIS : Definition des parametres	
Generalites	
Nom :	mea
Nature :	MODULATEUR-ELECTRO-ABSORBANT
Groupe :	Composants Optiques
Type (en sortie) :	INDEFINI
Caracteristiques	
gain ou perte du modulateur (dB) :	-13
tension de reference (V) :	4
coefficient de l'exposant de la fonction d'absorption :	+2
facteur de couplage phase-amplitude :	-0.5
OK Annuler Aide	

Figure II.3: Paramètre caractéristiques du modulateur MEA

L'analyse statique du modulateur est donnée par la courbe suivante :

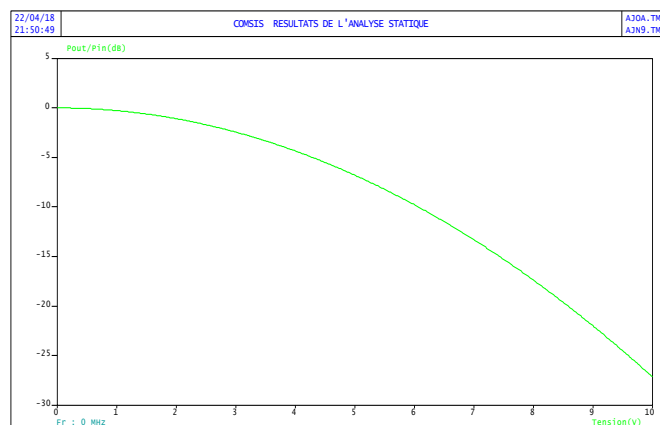


Figure II.4 : Paramètres caractéristiques du modulateur MEA en fonction de la tension

D'après la courbe nous remarquons que pour une tension nulle le modulateur laisse passer toute la lumière reçue à son entrée. Pour une tension négative il absorbe une

Chapitre II : Optimisation d'une chaîne de transmission à haut débit

proportion du signal optique par conséquent il est nécessaire d'ajouter un composant qui permet de convertir les niveaux tensions haut et bas : c'est le driver.

II.3.2. Le driver

Le rôle du driver est d'assurer une modulation maximale d'amplitude et par conséquent une simple séparation des niveaux optiques lors de transmission du signal entre le niveau bas de détection -1V et le niveau haut de détection 1V.

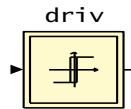


Figure II.5 : Modèle de simulation du driver de modulateur

Les paramètres du driver sont présentés dans la figure II.6 suivante :

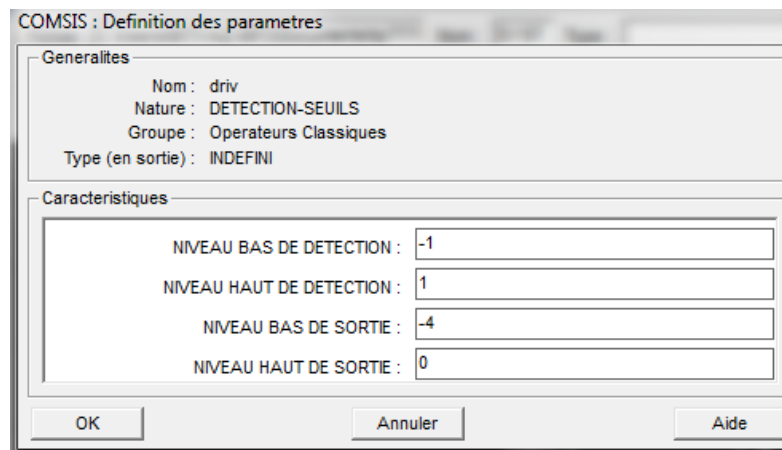
C'est une capture d'écran d'une fenêtre de dialogue intitulée 'COMSIS : Definition des parametres'. La fenêtre est divisée en deux sections principales : 'Generalites' et 'Caracteristiques'.
- Dans la section 'Generalites', on trouve les informations suivantes :
 - Nom : driv
 - Nature : DETECTION-SEUILS
 - Groupe : Operateurs Classiques
 - Type (en sortie) : INDEFINI
- Dans la section 'Caracteristiques', il y a quatre champs de saisie pour définir des niveaux de tension :
 - NIVEAU BAS DE DETECTION : -1
 - NIVEAU HAUT DE DETECTION : 1
 - NIVEAU BAS DE SORTIE : -4
 - NIVEAU HAUT DE SORTIE : 0
- À la base de la fenêtre, il y a trois boutons : 'OK', 'Annuler' et 'Aide'.

Figure II.6 : Paramètre caractéristique du driver modulateur

II.3.3. Le Courant

Après avoir décrit la première entrée électrique du modulateur MEA qui contient la séquence de données à transmettre. La deuxième entrée comporte le signal optique continu modulant l'information. Cette entrée est constituée d'un laser (défini précédemment) et d'un courant de commande du laser.

Chapitre II : Optimisation d'une chaîne de transmission à haut débit

En utilisant COMSIS ce courant sera modélisé par l'opérateur courant continu qui est illustré dans la figure II.7.

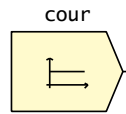


Figure II.7 : Modèle de simulation du courant continu

Le paramètre du courant est donné par la figure suivante :

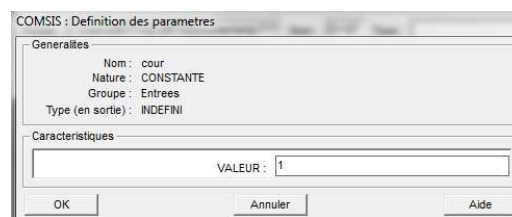


Figure II.8 : paramètre du courant

II.4. Bloc de transmission

Dans le but d'améliorer le signal reçu il est indispensable d'ajouter une fibre compensatrice de dispersion négative (figure II.9) à notre nouvelle chaîne pour compenser les pertes causées par la première fibre.

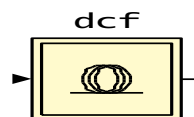


Figure II.9 : Bloc de la fibre compensatrice

Pour déterminer la longueur de la DCF, une étude réalisée a montré que la dispersion cumulée doit être nulle d'où la dispersion et la longueur vont obéir à la relation ci-dessous :

$$Dc1 \times L1 + Dc2 \times L2 = 0 \quad \dots (1)$$

avec :

D : Dispersions chromatiques de la 1^{er} et la 2^{eme} fibres

L : Les longueurs des fibres SMF et DCF, respectivement

Chapitre II : Optimisation d'une chaîne de transmission à haut débit

Les caractéristiques détaillées de cette fibre de compensation sont présentées dans le tableau ci-dessous :

The screenshot shows the 'COMSIS : Definition des paramètres' dialog box. It is divided into two main sections: 'Generalites' and 'Caracteristiques'.
In the 'Generalites' section, the following parameters are listed:
- Nom : dcf
- Nature : FIBRE-OPTIQUE-MONOMODE
- Groupe : Composants Optiques
- Type (en sortie) : INDEFINI
In the 'Caracteristiques' section, the following parameters are shown with their values:
- Longueur de la fibre (km) : L2
- Coefficient d'atténuation (dB/km) : 0.6
- Dispersion chromatique (ps/nm/km) : Constante (dropdown), -80
- Effet Kerr : Oui, Non
- Effet Raman : Oui, Non
- Coefficient de non linéarité de la fibre (m²/W) : 3.2e-20
- Gain Raman (m²/W) : 7.48e-21
- Fréquence de résonance (THz) : 12
- Demi-largeur de raie Raman (THz) : 6.432
- Aire effective de la section de la fibre (micro m²) : 30
- Type de discrétisation de la longueur : Fixe, Variable
- Valeur du pas (km) : 1
- Valeur initiale du pas (km) : (empty field)
- Dispersion Modale de Polarisation : Oui, Non
- Birefringence linéique (ps/km) : (empty field)
- Longueur de couplage (km) : (empty field)
- Retard introduit par la fibre (ns) : 4e-3
Buttons for 'OK', 'Annuler', and 'Aide' are located at the bottom of the dialog.

Figure II.10 : Paramètres caractéristiques de la fibre de compensation

II.5. Bloc de réception

Les composants utilisés en réception lors de la transmission optique sont :

II.5.1. Amplificateur électrique

Le signal optique est propagé le long de la fibre ainsi que dans les différents composants ce dernier sera affecté aux divers types de bruits et il est donc fortement atténué, chose qui rend sa récupération difficile.

Une amplification de signal est alors préférable avant la prise de décision. Cet amplificateur électrique est disponible dans COMSIS sous forme d'un opérateur de gain nommé gain illustré dans la figure ci-dessous :

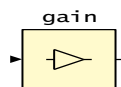


Figure II.11 : Modèle de simulation du gain

II.5.2 Opérateur de décision

La régénération du signal de sortie pour un tel système de transmission optique exige l'utilisation d'un module de synchronisation afin de récupérer le signal émis à la sortie. Pour ce faire nous avons besoin d'un composant de prise de décision qui se présente dans COMSIS par l'opérateur décision.

Ce schéma est donnée par la figure II.12 suivante :

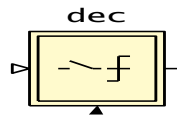


Figure II.12 : Modèle de simulation de la décision

Ce module appartient à la classe des organes de régénération. Son schéma de principe fait apparaître une sortie constituée du signal binaire régénéré, et deux entrées une pour le signal issu de filtre contenant la séquence de données et l'autre au signal d'horloge qui assure la synchronisation à la fréquence rythme. [3]

II.5.3. L'horloge

Ce modèle est utilisé pour minimiser les erreurs de décision, cette dernière est prise aux fronts montants de l'horloge et au centre du bit du signal filtré, lieu où les interférences entre symboles sont minimales.

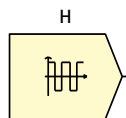


Figure II.13: modèle de simulation de l'horloge

II.5.4. Retard de synchronisation

Il faut donc synchroniser l'horloge pour que les fronts montants tombent au milieu des bits du signal, c'est pour cette raison que l'horloge est suivie d'un opérateur de retard (Retard-Continu).

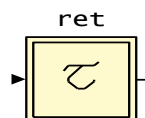


Figure II.14 : modèle de simulation du retard continu

II.6. Optimisation d'une chaîne de référence : exemple d'un débit de 40Gb/s :

Dans ce mémoire nous avons comme objectif d'améliorer la transmission par fibre optique haut débit : nous allons travailler avec un exemple de débit de 40Gb/s.

De ce fait nous allons insérer des nouveaux composants aux niveaux des blocs d'émission et de réception comme le montre le schéma bloc suivant :

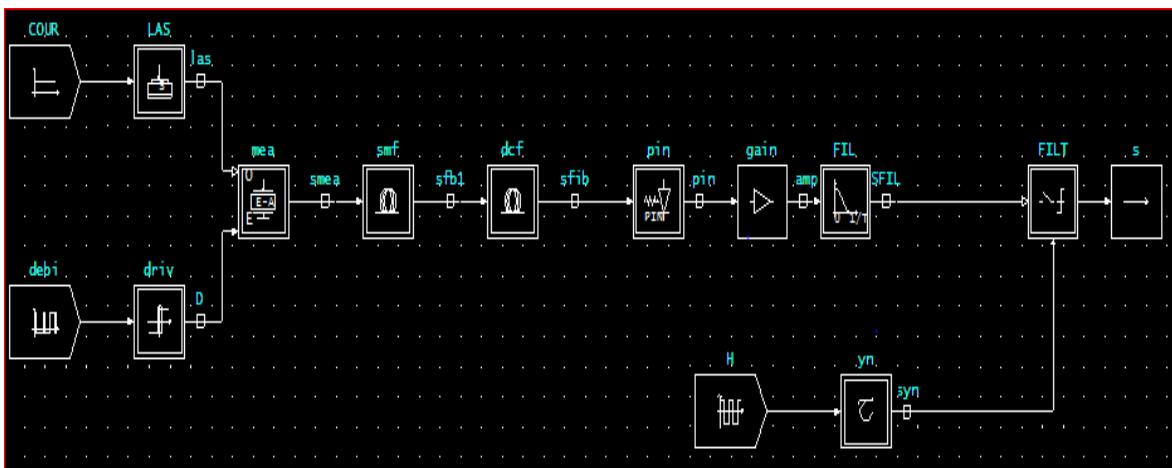


Figure II.15 : Schéma bloc de la chaîne de référence a 40Gb/s (utilisé en simulation)

II.6.1 Résultat de simulation de la chaîne de référence 40Gb/s

Dans ce qui suit on va présenter les résultats de simulations pour une chaîne de transmission à 40Gb/s avec des longueur 50 Km pour la fibre SMF et 10.62 Km pour la fibre compensatrice DCF.

Les différentes courbes qui illustrent l'allure des signaux en chaque point de la liaison sont représentés dans le tableau suivant :

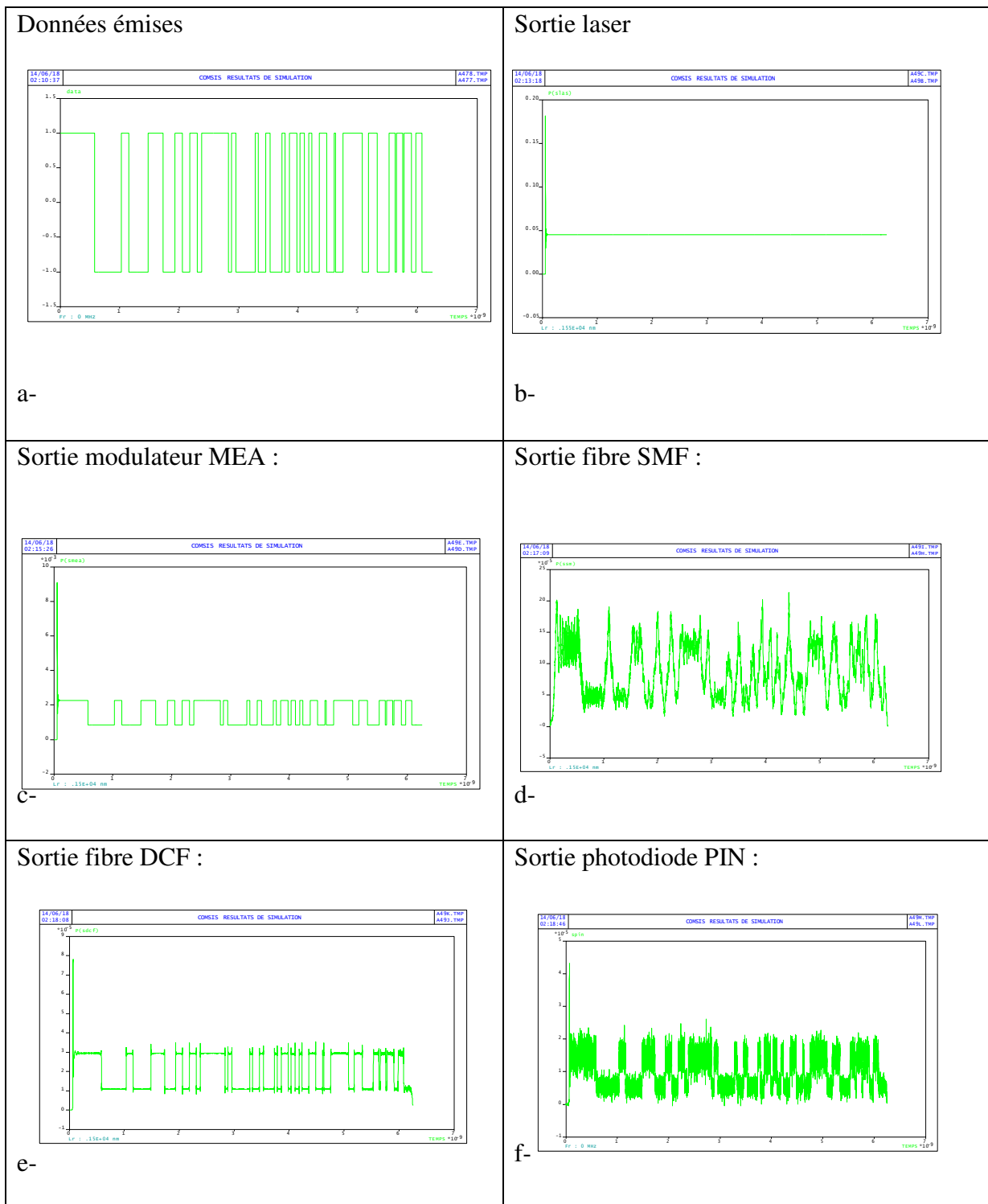


Figure.II.16.a : Allure du signal en chaque point de la chaîne de référence à 40Gb/s

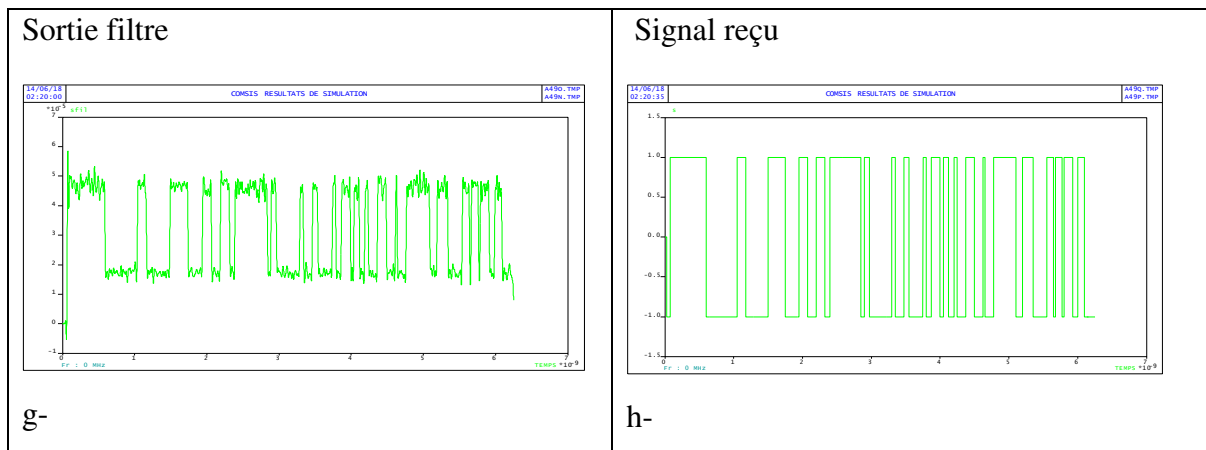


Figure.II.16 .b: Allure du signal en chaque point de la chaîne de référence à 40Gb/s

Ces courbes nous montrent que le signal a subi beaucoup de modifications qui sont causés par les effets des composants de la chaîne de transmission (atténuation, dispersion, déformation...etc). Quand on compare le signal émis avec le signal de sortie on voit que la seule différence se trouve au niveau du circuit de décision qui impose un retard de synchronisation pour régénérer le signal émis. La qualité de la transmission est jugée par l'utilisation du diagramme de l'œil en donnant un facteur de qualité $Q= 6.13$ et un $TEB = 0.443e^{-9}$.

La figure ci-dessous illustre le diagramme de l'œil :

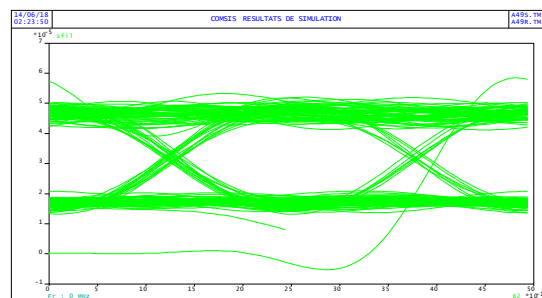


Figure II.17 : Diagramme de l'œil du signal de sortie.

II.6.2. Optimisation de la longueur de la fibre de compensation

Pour améliorer la qualité du signal on a joué sur la longueur de la fibre DCF, c'est à dire qu'on varie la longueur de la fibre DCF en gardant la longueur de la fibre SMF constante.

Chapitre II : Optimisation d'une chaîne de transmission à haut débit

Les résultats de cette simulation, sont donnés dans le tableau ci-dessous :

L (km)	50	50	50	50	50
L_c (km)	10	10.5	10.62	9	8
D_c (ps/(nm.km))	-85	-80.95	-80	-94.44	-100.4
Q	6.25	6.73	6.13	6.32	6.48

Tableau II.1 : Facteur de qualité en sortie suivant les différentes longueurs de la fibre DCF

Pour cette simulation nous avons eu un facteur de qualité $Q= 6.73$ et un taux d'erreur binaire $TEB=0.41e^{-11}$. On voit que le facteur de qualité est maximum pour une longueur de fibre DCF à 10.5 km.

II.6.3. Optimisation au niveau du modulateur MEA et la diode PIN

Les nouveaux composants ajoutés dans notre chaîne de transmission dont chacun possède ses propres caractéristiques influent directement sur la transmission des données. A part la dispersion, l'atténuation et les effets non linéaires des fibres utilisées qui contribuent à la non qualité de la transmission, nous procédons aussi à la limitation de la bande passante pour certains composants tel que le modulateur MEA et la photodiode PIN qui peuvent avoir un impact sur la transmission.

1. Optimisation au niveau du modulateur MEA

Le modulateur externe MEA est utilisée pour les hauts débit ; il est très important d'avoir un bon paramétrage de ce modulateur dont ses composants réels ont une bande passante limitée et par conséquent une fréquence de fonctionnement bien définie.

Cependant, le modèle MEA de la bibliothèque COMSIS présente une bande passante infinie qui doit être optimisé et ajusté en insérant un filtre avant le modulateur MEA.

Les limitations en bande passante du MEA proviennent de la partie électrique de ce dernier et non pas de l'effet électro-absorbant. C'est pourquoi notre intervention sera sur l'entrée électrique du MEA en introduisant un filtre passe-bas en cosinus surélevé après le driver pour limiter ainsi la bande passante.

Pour être en accord avec la réalité des matériaux et des technologies, notre comparaison sera faite pour trois fréquences de coupure différentes du filtre à la sortie du driver (40 GHz (=débit) et 32 GHz (=0.8× débit) la norme SDH, 47.5 GHz). [7]

Chapitre II : Optimisation d'une chaîne de transmission à haut débit

Ainsi le schéma bloc de la chaîne est illustrée par la figure ci-dessous.

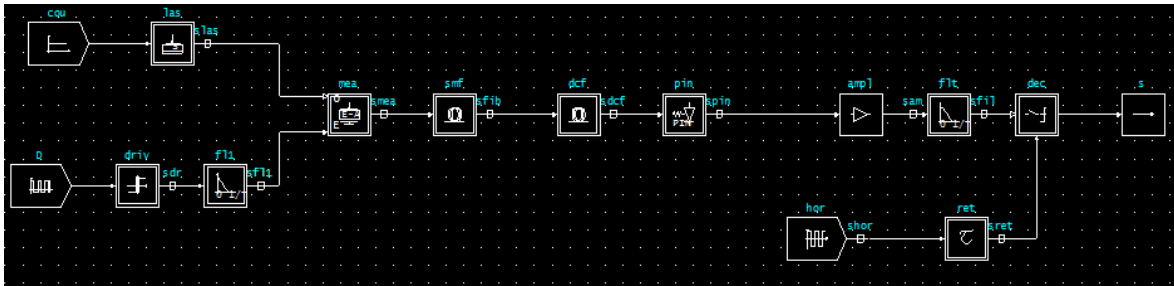


Figure II.18 : Schéma simulé en prenant en compte la bande passante du MEA

Le tableau suivant illustre les résultats de comparaisons pour les trois fréquences de coupure

Entrée MEA	Diagramme de l'œil à la sortie de la liaison	Fréquences de coupures
		$f=47.5\text{GHZ}$ $Q=6.95$ $\text{TEB}=0.186e^{-11}$
		$f=40\text{GHZ}$ $Q=7.02$ $\text{TEB}=0.109e^{-11}$
		$f=32\text{GHZ}$ $Q=6.85$ $\text{TEB}=0.337e^{-11}$

Figure II.19 : Allure des diagrammes de l'œil à la sortie de la liaison variant la bande passante du MEA

Chapitre II : Optimisation d'une chaîne de transmission à haut débit

D'après les résultats des différentes simulations nous pouvons limiter la bande passante de la chaîne de transmission pour une fréquence de coupure $f_c = 40\text{GHZ}$. Après simulation on a eu un taux d'erreur binaire $\text{TEB}=0.109e^{-11}$ avec un facteur de qualité $Q=7.02$ bien qu'il n'existe pas beaucoup d'écart avec les autres fréquences de coupures. Par contre la limitation de la bande passante est importante pour éviter les interférences entre les symboles, plus la bande passante est grande, plus l'interférence sera importante ce qui permet une mauvaise qualité de transmission. Dans notre cas nous pouvons conclure que le MEA présente une légère influence vis-à-vis de la qualité du signal en transmission.

2. Photodiode PIN en réception

Une photodiode PIN présente à son tour un certain nombre de paramètres et caractéristiques qui attaquent directement le signal transmis. Or le modèle existant dans la bibliothèque COMSIS ne tient compte que de quelques-uns (sensibilité et courant d'obscurité). C'est pourquoi nous allons insérer un filtre entre la photodiode PIN et l'amplificateur électrique pour limiter aussi sa bande passante. La figure II.20 illustre le schéma bloc suivant :

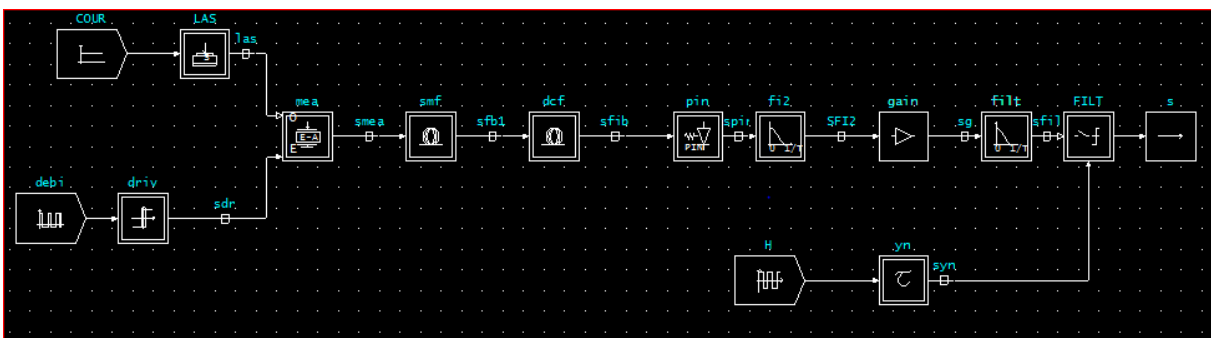


Figure II.20 : Schéma simulée en prenant en compte de la bande passante

Chapitre II : Optimisation d'une chaîne de transmission à haut débit

Notre simulation sera faite avec les mêmes valeurs de la fréquence de coupure pour rester dans les normes (40 GHz (=débit) et 32 GHz (=0.8× débit) la norme SDH, 40GHz) [7]

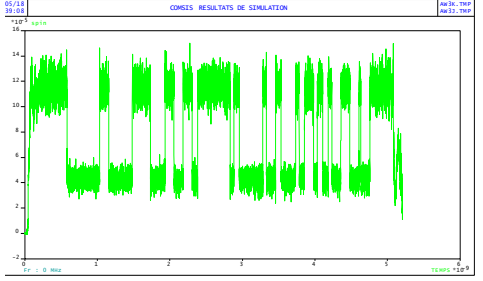
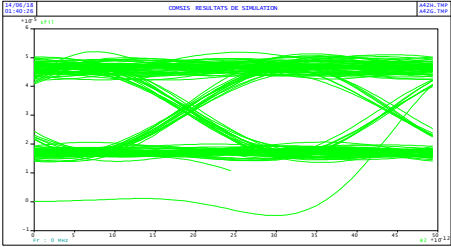
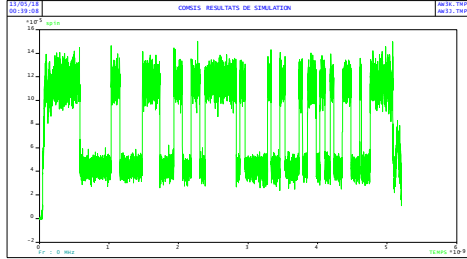
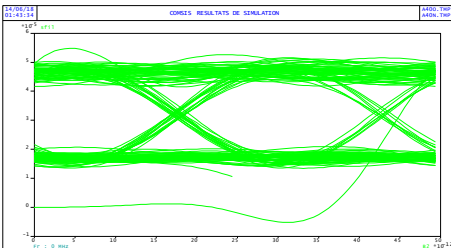
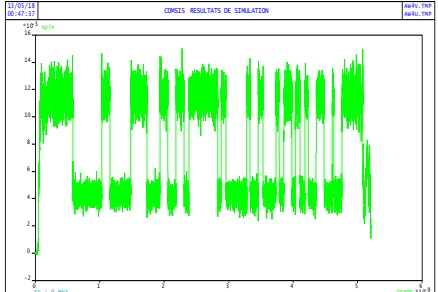
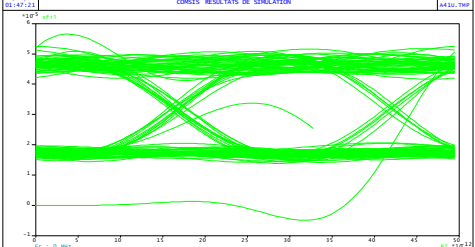
Sortie photodiode	Diagramme de l'œil à la sortie de la liaison	Fréquence coupure
		<p>$f=32\text{GHZ}$ $Q=7.36$ $\text{TEB}=0.919\text{e}^{-13}$</p>
		<p>$f=40\text{GHZ}$ $Q=6.86$ $\text{TEB}=0.342\text{e}^{-11}$</p>
		<p>$f=47.5\text{GHZ}$ $Q=6.49$ $\text{TEB}=0.427\text{e}^{-10}$</p>

Figure II.21 : Allure des diagrammes de l'œil en tenant compte de la bande passante en réception

Ces différents résultats de simulation montrent que la limitation de la bande passante a une légère influence au niveau de la photodiode. D'après les résultats obtenus par simulation ($Q \geq 7$) on a opté pour la fréquence 32 GHz pour un facteur de qualité de 6.86 et un $\text{TEB} = 0.342\text{e}^{-11}$.

II.7. Simulation de la chaîne de transmission optimisée

La chaîne finale introduisant toutes les optimisations des différents composants faites précédemment est la suivante :

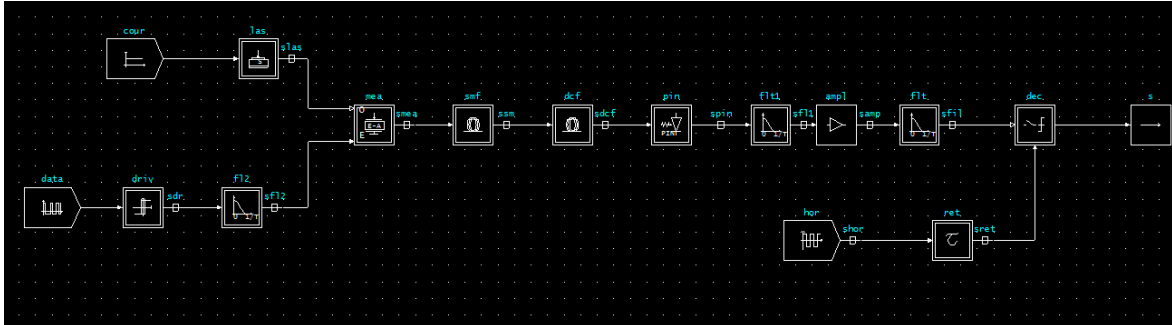


Figure II.22: schéma bloc de la chaîne optimisée

Les résultats de simulations sont donnés dans le tableau suivant :

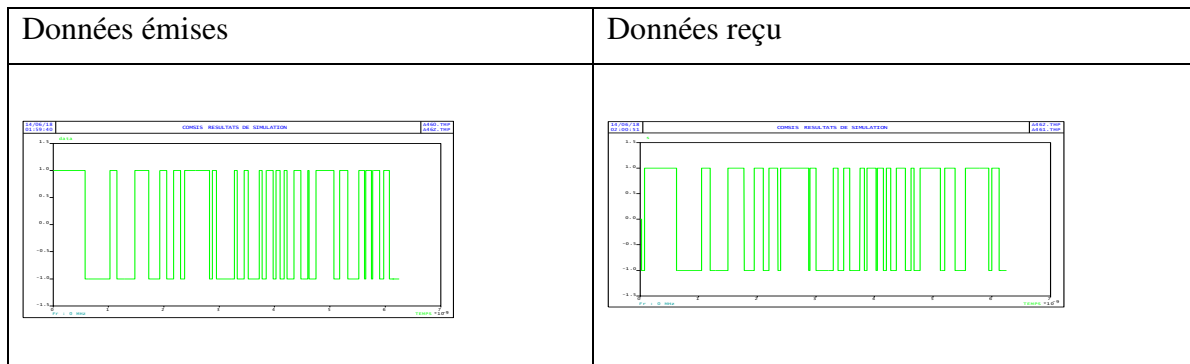


Figure II.23 : allure du signal émis et reçu

La simulation de la chaîne optimisée pour une longueur de fibre SMF 50 km a donné un facteur de qualité de 7.43 avec un $TEB=0.533e^{-13}$ qui est supérieur à celui trouvé initialement sans optimisation.

La figure ci-dessous nous montre le diagramme de l'œil de la chaîne optimisée

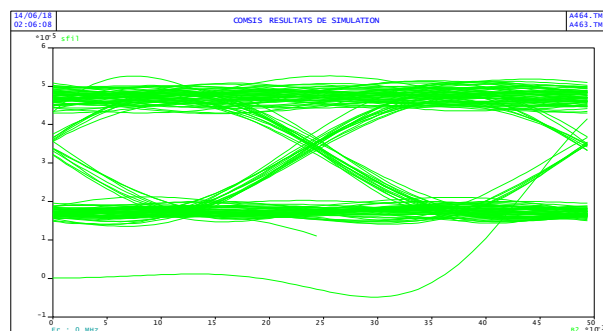


Figure II.24:diagramme de l'œil de la chaîne optimisée

II.8 Resultats et discussion

Le choix d'évaluation des performances de notre chaîne de transmission est basé sur le facteur de qualité Q , le taux d'erreur binaire et le diagramme de l'œil qui font partie des critères d'évaluation des performances en télécommunication. Sachant que les normes fixées dans le domaine des télécommunications demandent, pour maintenir la qualité de transmission, un facteur Q supérieur à 6 ce qui correspond à un taux d'erreur binaire $BER=10^{-9}$. [6]

En premier lieu nous avons effectué nos simulations en cherchant la longueur maximale de la fibre ainsi que le débit maximal pour une modulation directe (décrit dans le chapitre 1). Dans cette simulation on a utilisé le diagramme de l'œil pour une évaluation qualitative à la sortie de la liaison.

Ensuite, nous avons fait d'autres simulations comme la modulation externe à fin d'atteindre le haut débit en cherchant la longueur optimale de la fibre et limiter la bande passante de certains composants (MEA et diode PIN). Cette simulation a été évaluée par le diagramme de l'œil à la sortie du filtre. La simulation est effectuée pour une fréquence de référence associée à la fibre $F = 1/\lambda$ ($\lambda=1550\text{nm}$) $=2 \times 10^8$ MHz.

Le retard de la synchronisation est la somme du temps bits/2 + retards fibres + retard filtre [6]. Les retards sont de $2,5 \times 10^{-5}$ μs pour la liaison compensée, obtenus à la sortie du filtre.

Enfin, à titre comparatif entre les trois paramètres d'optimisation (longueur fibre, MEA, diode PIN) nous avons réalisés des simulations par rapport à nos résultats optimisés précédemment en jouant au niveau des différents blocs d'émission, de réception et du support de transmission. Pour cela trois cas d'optimisations ont été faites dans le but de bien choisir la ou les paramètres optimaux pour avoir une meilleure transmission à haut débit. Le choix peut être justifié par soit le facteur de qualité Q ou le TEB.

Dans ce cas on a passé par les trois cas suivants :

- ❖ Optimisation du MEA (en émission) et de la longueur de fibre
- ❖ Optimisation de MEA et de la photodiode PIN
- ❖ Optimisation de la longueur et photodiode PIN

Chapitre II : Optimisation d'une chaîne de transmission à haut débit

Les résultats de simulation ont été regroupés dans le tableau suivant :

Paramètre d'Optimisation	Facteur de qualité Q	Taux d'erreur Binaire
L et MEA	7.39	$0.773e^{-13}$
MEA et PIN	7.25	$0.214e^{-12}$
L et PIN	7.10	$0.646e^{-12}$
L,MEA et PIN	7.43	$0.533e^{-13}$

Tableau II.2 :résultats des différentes optimisations

Conclusion

La création et le perfectionnement de nouveaux systèmes de transmission par fibre optique, toujours plus performants devient de plus en plus difficile, sur le plan performances ainsi que sur la caractérisation de certains composants qui influents sur la transmission.

C'est dans ce sens que notre chapitre a été basé sur l'optimisation d'une chaîne de transmission à 40Gb/s par fibre optique avec le logiciel COMSIS, dans le but d'améliorer la qualité de transmission à la sortie de la chaîne de transmission. nous avons intervenu au niveau de la longueur de la fibre ainsi que la bande passante des composants tels que MEA et PIN pour avoir un meilleur résultat pour notre transmission d'un débit à 40 Gb/s.

Conclusion générale

Les progrès effectués dans le domaine des systèmes de télécommunications sont beaucoup importants et rapides en termes de capacité de transmission. C'est pourquoi il nous a paru intéressant de commencer ce mémoire avec une étude des paramètres ainsi que les composants optoélectroniques d'une chaîne simple utilisée en télécommunication par simulation avec COMSIS.

Cependant, les premières études faites permettent de conclure que la simulation peut être utilisée pour estimer l'impact et les limites des paramètres et composants sur les performances d'une chaîne optique.

Ces résultats permettent d'aboutir à la conception et l'optimisation d'une liaison optique haut débit à 40 Gb/s qui fait l'objectif de notre travail.

Cette liaison optique à haut débit conçue présente comme toute chaîne de télécommunication des inconvénients qui influent directement sur la propagation du signal le long de la fibre. Cela est dû aux effets linéaires et non linéaires de la fibre qui doivent être optimisés en introduisant une fibre de compensation des dispersions, en limitant aussi la bande passante de certains composants et procédé à l'amplification s'il y'a lieu.

Comme perspectives nous pouvons dire qu'avec la technique de multiplexage (WDM ou OTDM) on peut augmenter le débit et le nombre de canaux (par exemple pour 32 canaux de débit de 40Gb/s on peut atteindre jusqu'à un débit global de 1.28Tb/s par multiplexage en longueur d'onde WDM) et finalement le caractère d'optimisation sera plus lourd.

Les références bibliographiques

[1] : [http : www.scrib.com-transmission](http://www.scrib.com-transmission) optique.

[2] : [https : www.scrib.com-transmission](https://www.scrib.com-transmission) des données par voie optique.

[3] : Medjdoub Fadila, « Optimisation par la Simulation Système d'une Chaîne de Transmission Numérique par Fibre Optique Haut Débit », Mémoire de Magister en Télécommunications ,2010 Université Abou Bekr Belkaid- Tlemcen.

[4] : www.yumpu.com

[5] : Amari Malika et Hamri Bellel, « étude et évaluation d'une chaîne de transmission optique point à point avec une longueur d'onde $1.5\mu\text{m}$ », mémoire de Master en télécommunication,2017 Université de Saida_Dr Moulay Tahar

[6] : Nassima Boudrioua, « Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique : vers une compensation électronique de la PMD », thèse de doctorat en électronique,2007 Université Paul Verlaine – Metz.

[7]: Jean-Louis Verneuil, « Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s », thèse de doctorat en télécommunication Hautes Fréquences et Optique 2003,Université de Limoges.