

---

## Table des matières

---

### Partie I Le modèle de Maxwell–Bloch

---

<b>1</b>	<b>Contexte physique</b> . . . . .	3
1.1	L’optique non linéaire et quantique . . . . .	3
1.2	Phénomènes en optique non linéaire . . . . .	3
1.2.1	Effets non linéaires du second ordre . . . . .	3
1.2.2	Effet Kerr . . . . .	4
1.2.3	Effet laser . . . . .	4
1.2.4	Diffusions Raman . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Modèle physique</b> . . . . .	7
2.1	Les équations de Bloch . . . . .	7
2.1.1	Vecteur d’état, équation de Schrödinger . . . . .	7
2.1.2	Formalisme de la matrice densité . . . . .	8
2.1.3	L’approximation dipolaire électrique . . . . .	9
2.1.4	Les équations de Bloch . . . . .	10
2.1.5	Symétries, propriétés de positivité . . . . .	10
2.1.6	Modèles de relaxation . . . . .	12
2.2	Le système de Maxwell–Bloch . . . . .	15
2.2.1	Équations de Maxwell . . . . .	15
2.2.2	Couplage via la polarisation . . . . .	15
2.2.3	Modes de polarisation de l’onde . . . . .	16
2.3	Modèle à deux niveaux d’énergie . . . . .	17
2.3.1	Variables de Bloch à deux niveaux . . . . .	17
2.3.2	Couplage via la polarisation . . . . .	18
2.3.3	Un modèle unidimensionnel . . . . .	18
<b>3</b>	<b>Analyse mathématique</b> . . . . .	21
3.1	Le modèle complet et la terminologie . . . . .	21
3.2	Propriétés mathématiques . . . . .	21
3.2.1	Conservation de la trace . . . . .	22

3.2.2	Positivité des populations .....	23
3.2.3	Majoration des cohérences .....	24
3.2.4	Positivité de la matrice densité .....	25
3.3	Problème de Cauchy local .....	27
3.4	Estimations a priori .....	31
3.4.1	Estimation $L^\infty$ de la matrice densité .....	32
3.4.2	Définition d'une énergie physique .....	32
3.4.3	Premières estimations $L^2$ .....	33
3.4.4	Majoration de l'énergie .....	33
3.5	Problème de Cauchy global .....	34
3.5.1	Modèle à deux niveaux .....	34
3.5.2	Modèle à $N$ niveaux .....	35
<b>4</b>	<b>Simulations numériques .....</b>	<b>37</b>
4.1	Transparence auto-induite .....	37
4.2	Génération de seconde harmonique .....	41
4.3	Transfert de cohérence .....	43
4.4	Effet Raman .....	45
	<b>Littérature de la partie I .....</b>	<b>49</b>
<hr/>		
	<b>Partie II Une hiérarchie de modèles</b>	
<hr/>		
<b>5</b>	<b>Équations de taux .....</b>	<b>53</b>
5.1	Dérivation heuristique des équations de taux .....	53
5.2	Analogie avec les équations d'Einstein .....	55
5.3	Dérivation rigoureuse des équations de taux .....	56
5.4	États d'équilibre des équations de taux .....	57
5.4.1	Hypothèses et notations .....	57
5.4.2	Cas de la relaxation de Pauli seule .....	58
5.4.3	Dimension du noyau de $\Psi$ .....	58
5.4.4	Calcul de l'état d'équilibre .....	59
5.4.5	Définition d'une température .....	61
5.4.6	Négativité de l'opérateur de taux .....	61
<b>6</b>	<b>Expressions classiques de la polarisation .....</b>	<b>63</b>
6.1	Modèles linéaires .....	63
6.1.1	Modèle de Debye .....	64
6.1.2	Modèle de Lorentz .....	64
6.1.3	Optique linéaire instantanée .....	66
6.2	Modèles non linéaires .....	66
6.3	Autres développements .....	67

<b>7</b>	<b>Équations d'enveloppe</b> .....	69
7.1	Approche heuristique .....	69
7.1.1	Suppression du déplacement magnétique .....	69
7.1.2	Approximation paraxiale .....	70
7.1.3	Suppression de l'échelle rapide .....	70
7.1.4	Transparence auto-induite .....	71
7.2	Adimensionnement .....	72
7.2.1	Cas de l'interaction forte .....	72
7.2.2	Cas des champs faibles se propageant dans des milieux peu excités.....	73
7.2.3	Cas proche de la résonance .....	75
7.3	Asymptotiques rigoureuses.....	76
7.3.1	Optiques géométrique et diffractive .....	77
7.3.2	Présentation de la méthode dans le cadre de l'optique de Descartes .....	77
7.3.3	Généralisations à d'autres phénomènes .....	79
7.3.4	Application à des systèmes concrets.....	82
	<b>Littérature de la partie II</b> .....	85

---

### Partie III Considérations numériques

---

<b>8</b>	<b>Discrétisation des équations de Bloch</b> .....	89
8.1	La méthode de Crank–Nicolson .....	89
8.1.1	Présentation .....	89
8.1.2	Défaut de positivité.....	90
8.1.3	Erreur de trace.....	92
8.2	Une méthode de splitting .....	92
8.2.1	Principe.....	92
8.2.2	Réalisation .....	93
8.3	Illustration numérique .....	97
<b>9</b>	<b>Discrétisation des équations de Maxwell</b> .....	99
9.1	Un schéma aux différences finies : le schéma de Yee .....	99
9.1.1	Schéma de Yee unidimensionnel .....	99
9.1.2	Schéma de Yee bidimensionnel .....	100
9.2	Stabilité.....	100
9.2.1	Stabilité linéaire classique .....	100
9.2.2	Stabilité non linéaire.....	105
9.3	Schémas aux volumes finis .....	108
9.3.1	Polarisation TE .....	108
9.3.2	Polarisation TM.....	110

<b>10 Couplage Maxwell–Bloch</b>	111
10.1 Expressions de la polarisation	111
10.1.1 Formulation via le calcul de $\mathbf{P}$	111
10.1.2 Formulation via le calcul de $\mathbf{J}$	112
10.2 Couplage fort avec le schéma de Yee	112
10.3 Couplage faible avec le schéma de Yee	113
10.3.1 Méthode de Crank–Nicolson	113
10.3.2 Méthode du splitting	113
10.3.3 Méthode de la relaxation	114
10.4 Illustration numérique	114
10.4.1 Précision	114
10.4.2 Stabilité	115
10.5 Schéma aux volumes finis	122
10.5.1 Discrétisation en espace	122
10.5.2 Discrétisation en temps	123
<b>11 Modèles classiques</b>	125
11.1 Modèles discrets de type Yee	125
11.1.1 Principes des méthodes numériques	125
11.1.2 Modèle de Debye	127
11.1.3 Modèle de Lorentz	129
11.1.4 Permittivité numérique des schémas	130
11.1.5 Stabilité des méthodes par intégration directe	133
11.2 Schémas aux éléments finis	139
11.3 Équations d’enveloppe	140
<b>Littérature de la partie III</b>	141
<hr/>	
<b>Tendances pour l’avenir</b>	
<hr/>	
<b>Simplification du modèle</b>	145
<b>Enrichissements du modèle</b>	146
<hr/>	
<b>Appendices</b>	
<hr/>	
<b>A Constantes physiques</b>	149
A.1 Préfixes et symboles	149
A.2 Le système MKS	149
A.3 Constantes universelles	150
A.4 Unités des variables en optique non linéaire	150

<b>B Mesures physiques</b> .....	151
B.1 Longueurs d'ondes .....	151
B.2 Temps caractéristiques .....	152
B.3 Valeurs de $n_0$ et $n_2$ .....	152
B.4 Temps de relaxation .....	153
B.5 Modèle de Debye .....	153
B.6 Modèle de Lorentz .....	153
<b>C Notations</b> .....	155
<b>Littérature de la conclusion et des appendices</b> .....	165
<b>Liste des figures</b> .....	167
<b>Index</b> .....	169

Hiérarchie de modèles en optique quantique

De Maxwell-Bloch à Schrödinger non-linéaire

Bidegaray-Fesquet, B.

2006, XIV, 172 p. 21 ill., Softcover

ISBN: 978-3-540-27238-0