

TABLE DES MATIÈRES

Rapport Science et Technologie	iii
Composition du Comité RST	v
Avant-propos	vii
Composition du groupe de travail	xi
Analyse et recommandations	1
Introduction	1
1. Rappel des objectifs	3
2. État de la situation aujourd’hui	5
3. Évolution des recherches dans les vingt prochaines années	7
3.1. Le confinement magnétique : Iter	7
3.2. Le confinement inertiel : LMJ	9
4. Les verrous scientifiques et techniques pour Iter et le LMJ	10
5. Les verrous techniques et la préparation de l’industrialisation	13
6. Les autres filières ou solutions innovantes	14
7. Organisation de la recherche en fusion : aspects nationaux, européens et internationaux	16
7.1. La recherche de base	16
7.2. L’organisation de la recherche sur le confinement magnétique	17
7.3. L’organisation de la recherche pour le confinement inertiel	22
Conclusions et propositions	25
CHAPITRE 1 La filière Tokamak et la machine Iter	29
1. La machine Iter	32
2. Objectif nominal	33

3. Objectif avancé	35
4. Objectif technologique	36
5. Après Iter	37

CHAPITRE 2 La fusion par confinement inertiel 41

1. Principes et motivations	43
1.1. Concept	43
1.2. Principe d'un réacteur FCI	43
1.3. Les attraits de la fusion inertielle	45
1.4. Les principales étapes de la fusion inertielle	46
2. Solutions et projets	46
2.1. Les drivers	46
2.2. La cible et les schémas d'implosion	48
2.3. La chambre de réactions et les projets de réacteurs	49
3. Situation actuelle et perspectives	50
3.1. L'implosion par laser	51
3.2. L'implosion par ions lourds	54
3.3. L'implosion par Z-pinch	55
Conclusion	55

CHAPITRE 3 Les plasmas chauds magnétisés 57

1. Physique des plasmas chauds magnétisés	59
2. Stabilité	59
2.1. Principaux résultats	60
2.2. Les problèmes de physique ouverts en MHD	66
2.3. Problèmes communs avec d'autres secteurs de la physique	69
3. Turbulence et transport	70
3.1. Principaux résultats	71
3.2. Problèmes de physique ouverts en turbulence	76
3.3. Problèmes communs avec d'autres secteurs de la physique	79
4. Chauffage et génération de courant	81
4.1. Les principales méthodes de chauffage et de génération de courant	82
4.2. Les problèmes de physique ouverts en chauffage et génération de courant	87
4.3. Liens avec d'autres secteurs de la physique : les procédés plasmas	91

5.	Diagnosics	93
5.1.	Les principales techniques de mesure	94
5.2.	Les diagnostics dans l'ITER	95
CHAPITRE 4 Interaction laser-plasma et laser petawatt		101
1.	Interaction laser-plasma	103
1.1.	Physique mise en jeu	103
1.2.	État de l'art actuel	106
1.3.	Domaines à développer : études fondamentales, stratégie de développement de codes de prédiction globale, coordination de l'effort	108
1.4.	Enseignement	109
1.5.	Coordination et structuration de la communauté	110
2.	Allumage rapide et laser petawatt	110
2.1.	Présentation générale	110
2.2.	Les enjeux scientifiques	112
2.3.	Stratégie régionale, nationale et européenne	117
CHAPITRE 5 La physique atomique pour la fusion		123
1.	Contrôle du flux d'énergie à la paroi au moyen d'un scénario fortement radiatif	125
2.	Spectroscopie	126
2.1.	Spectroscopie passive	126
2.2.	Effets des champs magnétiques et électriques sur les profils de raies	127
2.3.	Plasmas par confinement inertiel	127
2.4.	Spectroscopie active	128
2.5.	Mesures spectroscopiques dans le plasma de bord	129
2.6.	Développements associés	130
3.	Interprétations théoriques	130
3.1.	Structure et évolution des plasmas	130
3.2.	Effets des fluctuations turbulentes	131
3.3.	Développements associés	132
CHAPITRE 6 La simulation numérique		135
1.	La simulation	137
2.	Fusion magnétique	138
2.1.	Modélisation intégrée	139
2.2.	Modélisation dite « de premiers principes »	140
2.3.	Les verrous et les besoins	143

3. Fusion par confinement inertiel	144
3.1. La modélisation	146
3.2. Les méthodes numériques	147
3.3. Les machines	148
3.4. L'adéquation de méthodes aux machines	150
3.5. Les résultats	150
3.6. Points durs et besoins	150
Conclusion et recommandations	151

CHAPITRE 7 Interaction plasma-paroi 153

1. Position du problème	155
2. Rôle de la région d'interaction plasma-paroi et contraintes associées	156
3. Choix de la géométrie de la région d'interaction plasma-paroi	158
4. Transport dans le plasma périphérique	160
5. États du plasma de divertor	161
6. Les matériaux des éléments face aux plasmas	162
7. Les problèmes ouverts	164

CHAPITRE 8 Les matériaux pour les composants proches du plasma dans les réacteurs à confinement magnétique 167

1. Problématique et solutions potentielles pour les composants proches du plasma	170
1.1. Les couvertures tritigènes	171
1.2. Le divertor	174
2. Les matériaux de structure	175
2.1. R&D Matériaux pour la technologie fusion	177
2.2. Conclusion	183
3. Les apports de la modélisation	183
4. Les apports de l'expérimentation	190
5. Les techniques d'assemblage	194
5.1. Les procédés d'assemblage par fusion	195
5.2. Les procédés d'assemblage sans fusion	196

CHAPITRE 9 Les études de sûreté 199

1. Particularités des installations de fusion en termes de sûreté et vis-à-vis de l'environnement	203
1.1. Absence de risque de réaction en chaîne	203
1.2. Limitation de déchets radioactifs à vie longue	203

2.	Démonstration de la sûreté des installations de fusion thermonucléaire	204
2.1.	Approche générale	204
2.2.	Approche probabiliste complémentaire	205
3.	La sûreté et les critères environnementaux	205
3.1.	Prescriptions communes aux deux filières – magnétique et inertielle	205
3.2.	Prescriptions particulières relatives à la filière magnétique – Maîtrise de l'énergie magnétique	211
3.3.	Prescriptions particulières relatives à la filière inertielle	212
3.4.	L'impact de la filière « fusion » sur l'environnement	212
CHAPITRE 10 La fusion par confinement inertiel et l'astrophysique		215
Groupe de lecture critique		219
	Composition du Groupe de lecture critique	221
	Commentaire du Commissariat à l'énergie atomique	223
	Commentaire du CNRS	229
	Commentaires de la Société française de physique	233
Présentation à l'Académie des sciences, par Édouard Brézin		237
	Intervention de Claude Allègre	246
	Intervention d'Édouard Brézin	247
	Intervention de Robert Dautray	248
Annexes : commander le CD-ROM		251