

Table des matières

Préface	11
Eric MONMASSON	
Introduction	13
Chapitre 1. Problématique du stockage de l'énergie électrique dans les systèmes de transport.	17
1.1. Besoins de stockage dans les systèmes de transport	17
1.2. Difficultés du stockage de l'énergie électrique	19
1.3. Alimentation en énergie électrique des systèmes de transport	22
1.4. Gestion du stockage	24
1.4.1. Cahier des charges	26
1.4.2. Structure du superviseur	27
1.4.3. Graphes fonctionnels	27
1.4.4. Fonctions d'appartenance	28
1.4.5. Graphes opérationnels	29
1.4.6. Règles	30
1.4.7. Indicateurs	30
1.4.8. Optimisation des paramètres du superviseur	30
1.4.9. Logique floue de type 2	31
1.4.10. Méthodologies mises en œuvre pour construire la gestion énergétique d'un système de stockage	32

Chapitre 2. Réseau local en continu à échange d'énergie pour applications en aéronautique.	33
2.1. Introduction.	33
2.2. Réseau de bord.	36
2.3. Réseau continu local étudié	37
2.4. Méthodologie de développement du superviseur.	39
2.5. Le cahier des charges	40
2.5.1. Les objectifs	40
2.5.2. Les contraintes.	41
2.5.3. Les moyens d'action	41
2.6. La structure du superviseur	41
2.6.1. Les grandeurs d'entrée	41
2.6.2. Les grandeurs de sortie.	42
2.7. Choix des outils de développement.	42
2.8. Identification des différents états de fonctionnement : le graphe fonctionnel.	44
2.8.1. Le graphe fonctionnel général	44
2.8.2. Les sous-graphes fonctionnels	46
2.8.2.1. Niveau N1.1 et « descendants »	46
2.8.2.2. Niveau N1.2 et « descendants »	48
2.8.2.3. Niveau N2 et « descendants »	51
2.9. Les outils	53
2.10. Les fonctions d'appartenance	53
2.11. Le graphe opérationnel	58
2.12. Les règles floues	64
2.13. Validation expérimentale	67
2.13.1. Implantation du superviseur	67
2.13.1.1. Méthode de simplification par création de tables de données.	69
2.13.1.2. Application aux niveaux N1 et N2 du superviseur	70
2.13.2. Configuration expérimentale	72
2.13.3. Résultats et analyses	73
2.13.3.1. Mode opératoire.	73
2.13.3.2. Résultats expérimentaux et comparaison	75
2.13.3.3. Analyse des indicateurs	79
2.14. Optimisation du superviseur flou	81
2.14.1. Méthodologie d'optimisation des superviseurs à base de règles floues	81
2.14.1.1. Choix des objectifs et des indicateurs	81
2.14.1.2. Choix des paramètres à optimiser	82

2.14.1.3. Détermination des paramètres influents à l'aide des plans d'expérience.	83
2.14.1.4. Optimisation des paramètres à l'aide des algorithmes génétiques	85
2.14.2. Application aux niveaux N1 et N2	85
2.14.2.1. Objectifs et indicateurs.	86
2.14.2.2. Identification des paramètres à optimiser.	86
2.14.2.3. Détermination des paramètres les plus influents.	89
2.14.2.4. Optimisation des paramètres	91
2.14.2.5. Validations.	94
2.15. Conclusion	97

Chapitre 3. Véhicules électriques et hybrides 99

3.1. Introduction.	99
3.2. Technologies de stockage dans les véhicules hybrides et les véhicules électriques	102
3.3. Développement des véhicules électriques et interaction avec les réseaux électriques	104
3.3.1. Problématique du développement des VE	104
3.3.2. La recharge des VE	105
3.3.3. Problématique de l'intégration dans les réseaux électriques.	106
3.4. Supervision de la charge des VE	107
3.4.1. Introduction	107
3.4.2. Modèle de charge du véhicule électrique	108
3.4.3. Réseau électrique de distribution	111
3.4.4. Supervision.	114
3.4.4.1. Méthodologie de construction de superviseur flou	114
3.4.4.2. Cahier des charges	115
3.4.4.3. Structure du superviseur.	116
3.4.4.4. Graphe fonctionnel.	117
3.4.4.5. Fonctions d'appartenance.	119
3.4.4.6. Graphe opérationnel	120
3.4.4.7. Règles floues	121
3.4.4.8. Indicateurs.	122
3.4.4.9. Optimisation du superviseur	122
3.4.5. Résultats	124
3.5. La charge réversible des véhicules électriques	126
3.5.1. Introduction	126

3.5.2. <i>Vehicle-to-Grid</i> et apport de la charge réversible aux réseaux électriques	126
3.5.3. <i>Vehicle-to-Home</i> et apport de la charge réversible aux bâtiments	128
3.6. Architectures et principe de fonctionnement des véhicules hybrides	129
3.6.1. Niveaux d'hybridation	129
3.6.2. Architecture des chaînes de traction	130
3.6.2.1. Hybride série	130
3.6.2.2. Hybride parallèle	130
3.6.2.3. Hybride série-parallèle	131
3.7. Gestion énergétique d'un véhicule hybride	131
3.7.1. Introduction	131
3.7.2. Logique floue pour la gestion énergétique	132
3.7.3. Logique floue de type 2	133
3.7.3.1. Généralités.	133
3.7.3.2. Quelques définitions.	135
3.7.3.3. Traitement d'un système flou de type 2	136
3.7.4. Application à la gestion d'énergie d'un véhicule électrique	139
3.7.4.1. Cas d'étude	139
3.7.4.2. Objectifs de la gestion énergétique proposée	141
3.7.4.3. Pilotage énergétique du système pile à combustible	141
3.7.4.4. Résultats des essais.	144
3.8. Conclusion	145

Chapitre 4. Système ferroviaire : chaîne de traction

diesel électrique hybride	147
4.1. Introduction.	147
4.2. Conception d'une locomotive hybride autonome	151
4.2.1. Introduction à la problématique de conception et de gestion d'énergie dans le contexte du projet PLATHEE.	151
4.2.1.1. Le projet PLATHEE : contraintes et objectifs du projet	151
4.2.1.2. Quels objectifs, quelles contraintes de conception ?	155
4.2.2. Stratégie de gestion fréquentielle.	156
4.2.3. Importance et traitement des missions ferroviaires	161
4.2.3.1. Indicateurs de dimensionnement liés aux missions ferroviaires.	162
4.2.3.2. Indicateurs d'hybridabilité liés aux missions ferroviaires.	163

4.2.3.3. Autres indicateurs liés aux performances de la locomotive	165
4.2.3.4. Classification des missions ferroviaires.	165
4.2.3.5. Synthèse de missions dimensionnantes	167
4.2.4. Conception séquentielle : du dimensionnement à l'analyse	169
4.2.4.1. Processus séquentiel : architecture, gestion, dimensions. . .	169
4.2.4.2. Modèles de conception des principaux éléments (N_{BT} , N_{SC} , P_{GEN}) ²	170
4.2.4.3. Synthèse énergétique des équipements à bord de PLATHEE	177
4.2.4.4. Analyse multicritère du dimensionnement.	185
4.2.4.5. Conclusion et autres travaux sur la conception de la locomotive PLATHEE	193
4.2.5. Mise en œuvre du démonstrateur PLATHEE.	194
4.2.5.1. Méthodologie de développement du démonstrateur	194
4.2.5.2. Définitions et objectifs de la simulation <i>Hardware In the Loop</i>	195
4.2.5.3. Simulateur <i>Hardware In the Loop</i> signal de la locomotive hybride PLATHEE	197
4.3. Conclusion du projet PLATHEE	210
4.4. Exercice : définition des besoins du système ferroviaire et application du stockage à la traction électrique	211
4.4.1. Etude cinématique d'un train	211
4.4.1.1. Introduction	211
4.4.1.2. Enoncé de l'étude	212
4.4.1.3. Réponses.	213
4.4.2. Etude de l'effort et du profil énergétique d'un train.	219
4.4.2.1. Introduction	219
4.4.2.2. Enoncé de l'étude	221
4.4.2.3. Réponses.	223
4.4.3. Dimensionnement basique et comparaison des technologies de système de stockage d'énergie pour les applications ferroviaires. . .	228
4.4.3.1. Introduction	228
4.4.3.2. Enoncé de l'étude	229
4.4.3.3. Réponses.	231
4.5. Annexes: caractéristiques techniques des sources et organes de stockage embarqués à bord de PLATHEE	235

Chapitre 5. Système ferroviaire : installation fixe de traction électrique hybride	241
5.1. Introduction.	241
5.2. Installations fixes de traction électrique hybride	246
5.2.1. Problématiques du système d'électrification ferroviaire	246
5.2.2. La solution des IFTEH	251
5.2.3. Etat de l'art des IFTEH	253
5.2.3.1. Services rendus par le stockage	253
5.2.3.2. Exemples d'installation fixe de traction électrique hybride	257
5.3. Gestion énergétique d'IFTEH	263
5.3.1. Méthodologie	263
5.3.2. Cahier des charges et spécifications techniques	263
5.3.3. Structure du superviseur	266
5.3.4. Détermination des graphes fonctionnels du gestionnaire court terme.	267
5.3.5. Fonctions d'appartenance	272
5.3.6. Détermination des graphes opérationnels	273
5.3.7. Règles floues.	274
5.3.8. Indicateurs de performance	274
5.3.9. Modélisation et résultats	280
5.3.10. Optimisation de la gestion énergétique	284
5.4. Expérimentation d'une IFTEH et analyse de sensibilité.	291
5.5. Perspective de <i>smart-grid</i> ferroviaire.	298
5.6. Conclusion	299
Bibliographie	301
Index	311