

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	IX
Table des auteurs	XI
1 • Introduction	1
1.1 La génération intermittente ou dispersée de l'énergie	1
1.2 Les raisons de la génération intermittente de l'énergie	2
1.3 L'importance de la génération intermittente de l'énergie	4
1.4 Développements de la génération intermittente de l'énergie	9
1.5 Impacts techniques de la génération intermittente de l'énergie sur le système de distribution	11
1.6 Impact économique de la génération intermittente de l'énergie sur le système de distribution	18
1.7 Impact de la génération intermittente de l'énergie sur le système de transmission	19
1.8 Impact de la génération intermittente de l'énergie sur la génération centrale	19
2 • Installation des sources d'énergie intermittente	21
2.1 Installations combinant chaleur et énergie électrique	21
2.2 Énergies renouvelables	27
2.3 En résumé	45
3 • Étude de systèmes	49
3.1 Introduction	49
3.2 Les types d'étude de systèmes	49
3.3 Études des transferts de puissance	51
3.4 Études des défauts	64
3.5 Étude de la stabilité	75
3.6 Étude « électromagnétique » des régimes transitoires	88
3.7 Annexe : critère de l'égalité des aires	89

4 • Étude des générateurs	93
4.1 Génératrices synchrones	94
4.2 Génératrices asynchrones	109
4.3 Convertisseurs électroniques de puissance	121
5 • Qualité de la puissance transmise	125
5.1 Papillotement de la tension	131
5.2 Harmoniques	133
5.3 Système de tensions déséquilibré	137
5.4 En résumé	138
6 • Protection des générateurs intermittents	139
6.1 Introduction	139
6.2 Schémas de protection des générateurs isolés	142
6.3 Protection contre les surintensités	148
6.4 Protection contre les surintensités dues à un défaut de mise accidentelle d'une phase à la terre	153
6.5 Protection différentielle des bobinages du stator	157
6.6 Défauts de phase et entre spires sur les bobinages statoriques	161
6.7 Protection contre les surtensions ou les baisses de tension	162
6.8 Protection contre les hausses ou les baisses de fréquence	163
6.9 Protection contre l'inversion du transfert de la puissance	163
6.10 Protection contre la perte de l'excitation	164
6.11 Protection contre les courants dus à une charge déséquilibrée	165
6.12 Protection thermique du stator du générateur	166
6.13 Protection contre l'excès d'excitation	167
6.14 Protection en cas de perte du réseau	167
6.15 Protection du rotor du générateur	170
7 • Fiabilité des systèmes de distribution : concepts et évaluation	173
7.1 Introduction	173
7.2 Évaluation au niveau haut I (HLI) du comportement de l'ensemble des générateurs	175
7.3 Évaluation au niveau haut II (HLII) des générateurs et des systèmes et de transmission	177
7.4 Évaluation au niveau haut III (HLIII) – Systèmes de distribution sans générateur intermittent	179
7.5 Systèmes de distribution avec générateur intermittent	188
7.6 Approches historiques de l'évaluation de la fiabilité	189
7.7 Études de cas simplifiées	190

7.8	Modélisation sur la fiabilité des générateurs	196
7.9	Modélisation sur la fiabilité du réseau	202
7.10	Indices de fiabilité et de production	204
7.11	Étude de cas	205
7.12	Conclusions	208
8	Aspects économiques de l'énergie intermittente	211
8.1	Introduction	211
8.2	Frais des connexions et charges financières	212
8.3	Facturation des charges financières pour l'utilisation du système et pour les générateurs intermittents	217
8.4	Attribution aux générateurs intermittents des pertes supplémentaires créées dans les réseaux	220
8.5	Autre méthode de tarification pour les réseaux de distribution	226
8.6	Conclusion sur les charges financières et la tarification	231
9	Prospective	233
9.1	Conclusion provisoire	233
9.2	Nouvelles technologies	235
9.3	Branchement sur un réseau à courant continu	238
9.4	Énergies nouvelles	241
9.5	Vers un réseau réduit ?	242
9.6	Une meilleure gestion des systèmes stockage/déstockage de l'énergie	243
	Glossaire	245
	Bibliographie	247
	Index	251

Les systèmes générateurs de puissance ont été développés à l'origine pour fournir des demandes locales en énergie, chacun de ces systèmes ayant été construits et exploités par des compagnies indépendantes. Durant les années de développement qui ont suivi, ce moyen d'exploitation était largement suffisant. Cependant, on s'aperçut très tôt qu'un système intégré, planifié, et exploité par une organisation spécifique était nécessaire pour créer un ensemble efficace qui soit à la fois raisonnablement fiable et économique. On a été conduit à centraliser les générateurs locaux de puissance pour satisfaire les demandes, via les systèmes de transmission et de distribution de l'énergie. Cependant, un nombre significatif de générateurs locaux de puissance fonctionnèrent en restant isolés à l'intérieur du système de distribution en plein développement, mais ils furent progressivement abandonnés et par la suite déclarés « hors service » si bien que dans les années 1970, la plupart d'entre eux avaient disparu de l'alimentation électrique industrielle du Royaume-Uni. Cette tendance aurait pu très bien continuer sans les contraintes nouvelles d'économies d'énergie et la volonté de se passer des productions polluantes.

En conséquence, les gouvernements et les prévisionnistes ont plus récemment développé activement des formes alternatives de production de l'énergie plus propres, celles-ci étant essentiellement renouvelables (éolien, solaire...) ou bien venant d'un générateur local combinant chaleur et puissance, ou par traitement des déchets. Paradoxalement, l'aspect économique et local des sources d'énergie avec ou sans fioul a fait que, au niveau de la transmission de la puissance, ces nouvelles sources ont dû être principalement reliées à des réseaux de distribution. Un grand cercle a donc évolué avec les sources intermittentes (*embedded*) à l'intérieur du réseau et dispersées (*dispersed*) en fonction de critères de production (vent, déchets disponibles, soleil...) à l'inverse des anciens systèmes distribués en étoile depuis des producteurs centralisés.

Durant plusieurs décennies, des modèles, des techniques et des outils d'application ont développé les moyens de reconnaître la nature profonde de la génération de l'énergie, et il existe beaucoup d'excellents documents qui relatent et décrivent en détail de tels systèmes.

Dans cet ouvrage, nous nous intéressons à certains traits spécifiques de la génération/production d'énergie à partir de sources intermittentes ainsi nommées pour caractériser des sources de faible puissance, dispersées à l'intérieur du système de distribution, souvent reliées à des réseaux à faible pouvoir de transport. Ces générateurs ne sont pas généralement gérés par un opérateur de réseau. Aussi les techniques et

pratiques existantes doivent être revues et mises à jour pour prendre en compte ces traits spécifiques. Ce livre les présente plus en détail, et ce que l'on peut en tirer. Le groupe de l'Énergie électrique et des systèmes de puissance dans le centre d'Énergie électrique de l'UMIST a une expertise considérable et l'expérience dans tous les aspects des problèmes concernant les sources « diversifiées ». C'est donc avec beaucoup de plaisir que nous avons accepté l'invitation de l'IEE d'écrire ce texte. Nous avons pris un grand soin de ne pas créer un livre qui pourrait être perçu comme un document spécifique de recherche, qu'un développement rapide rendrait trop simple. Au lieu de cela, nous avons essayé d'écrire un texte qui explique toutes les principales données des problèmes posés, qui place ces données dans le contexte des applications d'un système réel et qui décrit les pratiques et usages courants correspondants. Cependant, nous reconnaissons que ces pratiques sont en changement continu, aussi, nous avons également présenté des moyens divers pour aller de l'avant, et des solutions possibles à des problèmes non encore résolus. Évidemment, nous ne sommes pas en mesure de dire si tous ces objectifs ont été accomplis ; seul le lecteur peut le faire. Cependant, nous croyons sincèrement qu'ils l'ont été.

Finalement, aucun livre, y compris celui-ci, ne peut être écrit dans un isolement complet, et nous devons beaucoup à tous ces collègues et ces personnes avec lesquelles nous avons évolué dans l'industrie et dans les organisations professionnelles. Nous remercions tout particulièrement les collègues de UMIST, pour l'utilisation du programme IPSA, pour les exemples cités aux chapitres 3 et 4. Les autres auteurs voudraient aussi exprimer leur amitié et leurs remerciements à Ron Allan pour son *leadership* du groupe et pour la constitution de l'équipe qui a créé cet ouvrage.