

# Table des matières

<b>Préface de Thierry Magnin. Les technosciences à l'heure de l'urgence écologique</b> . . . . .	1
<b>Préface d'Audrey Linkenheld. Des <i>smart grids</i> et <i>smart buildings</i> expérimentés par une métropole</b> . . . . .	7
<b>Introduction</b> . . . . .	15
<b>Chapitre 1. Des enjeux de la transition aux <i>smart grids</i> et <i>smart buildings</i></b> . . . . .	27
1.1. Introduction . . . . .	27
1.2. Enjeux climatiques . . . . .	29
1.3. Quatre scénarios sociétaux et climatiques inspirants. . . . .	31
1.4. Sobriété ou prospérité. . . . .	39
1.4.1. Sobriétés personnelles, partagées et des organisations . . . . .	39
1.4.2. Du <i>smart sharing</i> au <i>wise sharing</i> . . . . .	40
1.4.3. De la sobriété à la prospérité . . . . .	43
1.4.4. Spiritualité et transition écologique . . . . .	45
1.5. Questions éthiques et enjeux politiques . . . . .	49
1.5.1. Questions éthiques de la transition écologique. . . . .	49
1.5.2. Questions de gouvernance ou nécessaire réinvention des démocraties . . . . .	50
1.5.3. L'éco-anxiété . . . . .	55
1.6. Une recherche en bifurcation . . . . .	57
1.7. Des réseaux d'énergie plus intelligents . . . . .	60

1.7.1. Du 100 % énergies renouvelables à un mixte de solutions . . . . .	60
1.7.2. Vers la décentralisation des réseaux électriques . . . . .	63
1.7.3. Réseaux électriques intelligents, autoproduction et autoconsommation. . . . .	65
1.7.4. Une fée électricité toujours plus miraculeuse, oui mais ? . . . . .	67
1.8. Des bâtiments plus intelligents dans un habitat désirable . . . . .	73
1.8.1. Bâtiments, lieux de vie. . . . .	73
1.8.2. Évolution des bâtiments en 2050 . . . . .	73
1.8.3. <i>Smart buildings</i> . . . . .	74
1.9. <i>Smart Buildings as nodes of Smart Grids</i> . . . . .	77
1.10. Apports méthodologiques de l'ouvrage . . . . .	79
1.11. L'intelligence artificielle en question . . . . .	81
1.12. Bibliographie . . . . .	82

## **Chapitre 2. *Smart city, smart building, smart user* : l'imaginaire du *smart* et ses impasses . . . . .** 87

2.1. Introduction. . . . .	87
2.2. Diminuer les consommations d'énergie : changer les techniques ou changer les usages ? . . . . .	88
2.2.1. Les limites de l'efficacité énergétique . . . . .	88
2.2.2. Les limites d'une approche centrée (uniquement) sur les usages. . . . .	89
2.2.3. La dépendance des usages aux techniques utilisées . . . . .	92
2.3. L'imaginaire du <i>smart</i> et ses impasses . . . . .	95
2.3.1. La distanciation technique comme point commun. . . . .	96
2.3.2. La <i>smart city</i> , ou l'imaginaire d'une ville sans habitant . . . . .	96
2.3.3. Le <i>smart building</i> , ou l'imaginaire d'un bâtiment parasité par ses usagers . . . . .	98
2.4. Conclusion : à la recherche du <i>smart user</i> ? . . . . .	99
2.5. Bibliographie. . . . .	101

## **Chapitre 3. Prévisions de la production et de la consommation de l'énergie électrique . . . . .** 105

3.1. Introduction. . . . .	105
3.2. Variabilité de la production et de la consommation . . . . .	106
3.3. Prévision de la production photovoltaïque . . . . .	108
3.3.1. Prévision par images satellites . . . . .	110
3.3.2. Prévision à court terme par caméra . . . . .	111
3.3.3. Prévision par réseaux de neurones . . . . .	113
3.3.4. Cas d'étude : prévision 24 heures en avance de la production de la centrale photovoltaïque de l'Université catholique de Lille. . . . .	118

3.4. Prédiction de la consommation électrique . . . . .	125
3.4.1. Facteurs importants pour les prévisions de la consommation électrique . . . . .	125
3.4.2. Méthodes de prédiction de la consommation électrique . . . . .	126
3.4.3. Cas d'étude : prédiction 24 heures à l'avance de la consommation électrique d'un îlot de bâtiments à l'Université catholique de Lille . . .	128
3.5. Valorisation des prévisions et retour d'expérience . . . . .	133
3.5.1. Utilisation des prévisions dans la gestion énergétique du démonstrateur <i>smart grid</i> de l'Université catholique de Lille . . . . .	133
3.5.2. Prédiction de la charge dans un réseau de distribution au niveau d'un poste source haute tension/moyenne tension (HT/MT) . . . . .	137
3.5.3. Importance de la prédiction météorologique . . . . .	140
3.5.4. Importance de l'analyse d'incertitude . . . . .	141
3.5.5. Importance de la taille et de la qualité de la base de données . . .	142
3.6. Conclusion . . . . .	142
3.7. Remerciements . . . . .	143
3.8. Bibliographie . . . . .	143

## **Chapitre 4. Prise en compte des acteurs dans les stratégies de gestion énergétiques . . . . .**

	<b>147</b>
4.1. Introduction . . . . .	147
4.2. Système d'acteurs dans un réseau électrique . . . . .	150
4.2.1. Rôle des acteurs . . . . .	150
4.2.2. Gestionnaire de réseau . . . . .	151
4.2.3. Agrégateur . . . . .	152
4.2.4. Producteur . . . . .	152
4.2.5. Consommateur . . . . .	153
4.2.6. Consommateur-producteur . . . . .	154
4.3. Méthodologie de gestion de la flexibilité énergétique impliquant les acteurs . . . . .	154
4.3.1. Définition des concepts principaux . . . . .	154
4.3.2. Méthodologie globale de supervision énergétique . . . . .	156
4.4. Modélisation des profils d'acteurs . . . . .	158
4.4.1. Approche interdisciplinaire . . . . .	158
4.4.2. Profils d'acteurs existants . . . . .	159
4.4.3. Profils observables . . . . .	162
4.4.4. Profils intégrables . . . . .	163
4.5. Profils de l'acteur résidentiel . . . . .	164
4.5.1. Retour de démonstrateurs . . . . .	164
4.5.2. Recherche des profils de consommateurs . . . . .	165
4.5.3. Approches sociologiques de l'acceptation à participer à la gestion du réseau . . . . .	167

4.5.4. Approches économiques de l'implication des consommateurs . . .	168
4.5.5. Nécessaire interdisciplinarité . . . . .	170
4.5.6. Caractérisation de la flexibilité . . . . .	171
4.5.7. Paramètres influençant la flexibilité . . . . .	175
4.6. Identification de profils d'acteurs résidentiels . . . . .	178
4.6.1. Introduction . . . . .	178
4.6.2. Approche micro-économique de la sensibilité au prix . . . . .	179
4.6.3. Approche sociologique de la sensibilité à l'environnement . . . . .	189
4.7. Profils d'acteurs résidentiels retenus . . . . .	190
4.7.1. Économes . . . . .	190
4.7.2. Écosensibles . . . . .	190
4.7.3. Technophiles. . . . .	191
4.7.4. Indifférents – Opportunistes modérés . . . . .	191
4.7.5. Désengagés. . . . .	191
4.7.6. Discussions. . . . .	191
4.8. Conclusion . . . . .	193
4.9. Remerciements. . . . .	194
4.10. Bibliographie . . . . .	194

## **Chapitre 5. Supervision énergétique d'un réseau résidentiel local intégrant l'implication des acteurs . . . . . 201**

5.1. Introduction. . . . .	201
5.2. Méthodologie de supervision énergétique . . . . .	202
5.3. Modélisation d'un cas d'étude résidentiel . . . . .	203
5.3.1. Réseau électrique considéré. . . . .	203
5.3.2. Modélisation de la consommation . . . . .	204
5.3.3. Discussion sur les limites du modèle . . . . .	206
5.4. Supervision la veille pour le lendemain (à J-1) . . . . .	206
5.4.1. Discussion sur la supervision prévisionnelle . . . . .	206
5.4.2. Mise en œuvre du superviseur J-1 . . . . .	212
5.4.3. Cahier des charges . . . . .	213
5.4.4. Modélisation des profils d'acteurs . . . . .	217
5.4.5. Structure du superviseur . . . . .	222
5.4.6. Optimisation globale et théorie des jeux . . . . .	225
5.4.7. Optimisation locale par programmation dynamique . . . . .	228
5.5. Supervision temps réel . . . . .	231
5.5.1. Discussion sur la supervision temps réel . . . . .	231
5.5.2. Mise en œuvre de la supervision temps réel . . . . .	235
5.5.3. Continuité avec le superviseur J-1 . . . . .	235
5.5.4. Superviseur à logique floue . . . . .	236
5.5.5. Indicateurs . . . . .	246

5.6. Simulations prospectives du superviseur global sur deux semaines. . .	246
5.6.1. Scénarios . . . . .	246
5.6.2. Résultats et discussion . . . . .	248
5.7. Conclusion . . . . .	253
5.8. Remerciements. . . . .	256
5.9. Bibliographie. . . . .	256

## **Chapitre 6. Autoconsommation au sein d'une communauté énergétique renouvelable locale . . . . . 261**

6.1. Introduction. . . . .	261
6.2. Communauté énergétique renouvelable locale . . . . .	264
6.3. Modélisation d'un cas d'étude tertiaire . . . . .	265
6.3.1. Îlot historique de l'Université catholique de Lille . . . . .	265
6.3.2. Modélisation du réseau électrique . . . . .	267
6.4. Optimisation distribuée de l'énergie . . . . .	268
6.4.1. Introduction . . . . .	268
6.4.2. Échanges d'énergie au sein des communautés . . . . .	269
6.4.3. Optimisation distribuée des échanges d'énergie avec la théorie des jeux. . . . .	273
6.4.4. Résultats de simulation. . . . .	286
6.5. Gestion d'échanges énergétiques <i>via</i> la technologie blockchain. . . . .	293
6.5.1. Introduction . . . . .	293
6.5.2. Principe d'une blockchain . . . . .	293
6.5.3. Développement d'une blockchain locale pour la gestion des échanges énergétiques dans la communauté énergétique renouvelable . . . . .	296
6.5.4. Simulations et résultats. . . . .	304
6.6. Interprétations et retours d'expérience . . . . .	310
6.7. Conclusion . . . . .	311
6.8. Remerciements. . . . .	312
6.9. Bibliographie. . . . .	312

## **Chapitre 7. Un habitat durable et désirable grâce aux *smart buildings* . . . . . 319**

7.1. Introduction. . . . .	319
7.2. <i>Smart building</i> . . . . .	322
7.2.1. Définition du <i>smart building</i> . . . . .	322
7.2.2. Services offerts par un <i>smart building</i> . . . . .	323
7.3. Traitement des données et gestion du bâtiment. . . . .	333
7.3.1. Introduction . . . . .	333

7.3.2. Optimisation énergétique dynamique d'un bâtiment . . . . .	335
7.3.3. Qualité de l'air extérieur et intérieur d'un bâtiment . . . . .	345
7.3.4. Blockchain et bâtiment. . . . .	348
7.4. Impact environnemental et climatique du bâtiment . . . . .	349
7.4.1. Introduction . . . . .	349
7.4.2. Rénover plutôt que construire du neuf. . . . .	350
7.4.3. Gestion sociotechnique d'un bâtiment. . . . .	352
7.4.4. Sobriété dans le bâtiment résidentiel. . . . .	354
7.5. Remerciements. . . . .	357
7.6. Bibliographie. . . . .	357
<b>Chapitre 8. Démonstrateurs . . . . .</b>	<b>359</b>
8.1. Introduction : la mise en œuvre à échelle réelle . . . . .	359
8.2. <i>Technology Readiness Level</i> . . . . .	360
8.3. Développement d'un démonstrateur <i>smart grid</i> . . . . .	361
8.3.1. Des projets démonstrateurs . . . . .	364
8.4. Un démonstrateur intégrateur . . . . .	365
8.4.1. Introduction . . . . .	365
8.4.2. Pilotage de la production photovoltaïque . . . . .	366
8.4.3. Intégration et pilotage de la charge des véhicules électriques . . . . .	369
8.4.4. Pilotage de charges électriques au sein de bâtiments . . . . .	373
8.4.5. Pilotage du stockage de l'énergie électrique . . . . .	381
8.4.6. Réseaux de communication . . . . .	384
8.4.7. Développements informatiques. . . . .	386
8.4.8. Perspectives . . . . .	386
8.5. La contribution à l'effacement électrique des occupants d'un site tertiaire . . . . .	387
8.5.1. L'évolution des sources de réduction des consommations énergétiques. . . . .	388
8.5.2. Les potentiels d'effacement dans les sites tertiaires . . . . .	391
8.5.3. Cas d'exploration des potentiels d'effacement en site tertiaire . . . . .	396
8.5.4. Conclusion des deux cas . . . . .	404
8.6. Conclusion . . . . .	405
8.7. Remerciements. . . . .	405
8.8. Bibliographie. . . . .	406
<b>Postface. Éloge d'une prosp'active citoyenne . . . . .</b>	<b>409</b>
Pierre GIORGINI	
<b>Index . . . . .</b>	<b>415</b>