

# Table des matières

<b>Préface</b> .....	13
Pierre CRÉGO	
<b>Remerciements</b> .....	15
<b>Les auteurs</b> .....	17
<b>Avant-propos</b> .....	19
<b>Préambule</b> .....	21
<b>Partie 1. Le <i>buzz</i> IoT/loE</b> .....	23
<b>Chapitre 1. Introduction</b> .....	27
1.1. Définition des Objets communicants ou connectés .....	27
1.1.1. Objets connectés-Objets communicants. ....	27
1.1.2. Définition de l’IoT .....	28
1.1.3. <i>Internet of</i> ... .....	29

<b>Chapitre 2. Le (trop) vaste monde de l’IoT . . . . .</b>	<b>33</b>
2.1. 2011-2017, la folie du terme « Objet connecté » . . . . .	33
2.1.1. Le fourre-tout . . . . .	33
2.1.2. Mode <i>buzz</i> et de « bulle » : que dit la boule de cristal ? . . . . .	34
2.1.3. Courbe <i>Hype</i> des innovations . . . . .	35
2.2. But réel de cet ouvrage . . . . .	38
<b>Chapitre 3. Pourquoi un Objet connectable ? . . . . .</b>	<b>39</b>
3.1. Exemples d’Objets connectables . . . . .	39
3.1.1. Maintien à domicile des personnes âgées . . . . .	40
3.1.2. En automobile . . . . .	42
<b>Partie 2. Contraintes autour d’un projet IoT . . . . .</b>	<b>45</b>
<b>Chapitre 4. Aspects à prendre en considération . . . . .</b>	<b>49</b>
4.1. Aspects financiers et marketing . . . . .	49
4.2. Aspects techniques et industriels . . . . .	50
4.3. Aspects réglementaires et normatifs . . . . .	50
4.4. Aspects sécuritaires . . . . .	50
4.5. Aspects afférents aux coûts . . . . .	50
<b>Chapitre 5. Aspects financiers et marketing . . . . .</b>	<b>53</b>
5.1. Aspects économiques . . . . .	53
5.1.1. Vendable/achetable . . . . .	53
5.2. Aspects ergonomiques . . . . .	55
5.2.1. Forme mécanique et design <i>versus</i> ergonomie . . . . .	55
5.2.2. Souplesse d’emploi pour l’utilisateur . . . . .	56
<b>Chapitre 6. Aspects techniques et industriels . . . . .</b>	<b>57</b>
6.1. Aspects techniques . . . . .	57
6.1.1. Cycle de vie d’un nouveau produit . . . . .	57
6.1.2. Faisabilité technico-économique . . . . .	57
6.1.3. Conception . . . . .	58
6.1.4. Industrialisation, processus de fabrication et qualité . . . . .	58
6.2. Aspects énergétiques . . . . .	58

6.2.1. Alimentation de l'Objet par le secteur 220V . . . . .	59
6.2.2. Présence d'une pile, batterie ou d'un accumulateur rechargeable (système dit <i>battery-assisted</i> ). . . . .	59
6.2.3. Récupération d'énergie ( <i>energy harvesting</i> ou <i>scavenging</i> ) . . . . .	59
6.2.4. Autonomie et durée de vie. . . . .	60
6.2.5. Petite revue des questions « idiotes » à résoudre. . . . .	60
6.2.6. Quantification de l'énergie . . . . .	61
6.2.7. Dualité coulomb-ampère/heure . . . . .	61
6.2.8. Quelques exemples . . . . .	62
6.3. Aspects industriels. . . . .	65
<b>Chapitre 7. Aspects réglementaires et normatifs . . . . .</b>	<b>67</b>
7.1. Aspects réglementaires et recommandations . . . . .	67
7.1.1. Réglementations des radiofréquences . . . . .	68
7.1.2. Recommandations sanitaires . . . . .	69
7.1.3. Réglementations sociétales et de libertés individuelles ( <i>privacy</i> ) . . . . .	70
7.2. Réglementations environnementales et recyclage . . . . .	79
7.2.1. Traitements des déchets électroniques. . . . .	80
7.2.2. Réglementation et organisation de la filière . . . . .	80
7.2.3. Marquage des équipements électriques et électroniques . . . . .	81
7.3. Aspects normatifs . . . . .	81
7.3.1. ISO/AFNOR . . . . .	82
7.3.2. IEEE. . . . .	82
7.3.3. ETSI. . . . .	82
7.3.4. En résumé . . . . .	83
<b>Chapitre 8. Aspects sécuritaires . . . . .</b>	<b>85</b>
8.1. Aspects sécuritaires . . . . .	85
8.1.1. Les maillons faibles. . . . .	86
8.1.2. Remèdes possibles . . . . .	88
8.1.3. Définition et choix de la cible de sécurité. . . . .	89
8.1.4. Notions de niveaux de sécurité appliqués en IoT . . . . .	90
8.1.5. La vraie sécurité : exemple de <i>Secure Element</i> . . . . .	92
8.1.6. Cryptographie . . . . .	96
8.1.7. Objets « grand public », IoT, sécurité... et <i>Cloud</i> . . . . .	101
8.1.8. Juge de paix de la qualité de la sécurité . . . . .	106
8.1.9. Quelques réflexions à propos de sécurité, privauté et IoT . . . . .	106
8.2. Vulnérabilités et attaques de la chaîne IoT . . . . .	108

8.2.1. Attaques au niveau des couches logicielles . . . . .	109
8.2.2. Attaques au niveau des cartes ou Objets . . . . .	109
8.2.3. Attaques au niveau des circuits intégrés. . . . .	110
8.3. Standards de sécurité . . . . .	110
<b>Partie 3. Architecture globale de la chaîne IoT . . . . .</b>	<b>113</b>
<b>Chapitre 9. Modèles de communication en IoT. . . . .</b>	<b>117</b>
9.1. Les modèles de communication en IoT . . . . .	117
9.1.1. Le modèle OSI et sa description . . . . .	117
9.1.2. Modèle TCP/IP . . . . .	120
9.1.3. En guise de conclusion du chapitre . . . . .	127
<b>Chapitre 10. Architecture globale d'un système IoT . . . . .</b>	<b>129</b>
10.1. Architecture globale d'une solution OC et IoT . . . . .	129
10.2. D'un point de vue plus technologique . . . . .	130
10.2.1. Architecture et synoptique d'une chaîne IoT . . . . .	130
10.3. Les très nombreux protocoles mis en jeu. . . . .	140
10.4. Les personnes concernées par toutes ces entités . . . . .	141
<b>Partie 4. Description détaillée de la chaîne IoT. . . . .</b>	<b>143</b>
<b>Partie 4A. De l'utilisateur (du monde extérieur) à l'Objet . . . . .</b>	<b>147</b>
<b>Chapitre 11. Du monde extérieur à l'Objet . . . . .</b>	<b>149</b>
11.1. Par des capteurs . . . . .	149
11.2. Par des liaisons filaires . . . . .	150
11.3. Par des liaisons RF. . . . .	150
11.4. <i>Very Short Range</i> (< à 10 cm) . . . . .	150
11.4.1. NFC en très courte distance (la dizaine de centimètres). . . . .	150
11.4.2. RFID UHF en courte distance (quelques mètres) . . . . .	151
11.5. <i>Short Range SR Wide Band</i> (dizaines de mètres). . . . .	152
11.5.1. <i>Bluetooth Low Energy</i> (BLE) . . . . .	153
11.5.2. ZigBee et autres . . . . .	154

<b>Chapitre 12. L'Objet connecté sécurisé</b> . . . . .	<b>155</b>
12.1. Les capteurs . . . . .	155
12.2. L'intelligence locale-microcontrôleur . . . . .	155
12.2.1. Exemple 1 . . . . .	156
12.2.2. Exemple 2 . . . . .	156
12.3. La sécurité (SE)... . . . .	156
12.4. Les moyens de communication . . . . .	157
12.4.1. Vers le monde environnant . . . . .	157
12.4.2. Vers les <i>base stations</i> . . . . .	157
<b>Partie 4B. De l'Objet à la <i>base station</i></b> . . . . .	<b>159</b>
<b>Chapitre 13. Communication pour accéder à une <i>base station</i></b> . . . . .	<b>163</b>
13.1. Technologies possibles de connectivités réseaux . . . . .	163
13.1.1. Réseaux RF non opérés à portée locale ou ultra-locale . . . . .	165
13.1.2. Réseaux RF opérés à déploiement étendu . . . . .	165
13.1.3. Y a-t-il la place pour toutes ces technologies ? . . . . .	166
13.2. <i>Medium Range (MR) Wide Band</i> (centaines de mètres) . . . . .	166
13.2.1. Wi-Fi . . . . .	166
13.2.2. ZigBee et autres . . . . .	168
13.3. <i>Long Range (LR)</i> (dizaines de kilomètres) . . . . .	168
13.3.1. NB, UNB, WB, UWB, FHSS, DSSS et les réglementations RF . . . . .	168
13.3.2. Les régulateurs et les réglementations . . . . .	170
13.3.3. Les bases RF . . . . .	177
13.3.4. <i>Low Throughput Network (LTN)</i> . . . . .	182
13.3.5. <i>Long Range (LR-LTN)</i> . . . . .	183
13.3.6. LR WB . . . . .	223
13.3.7. LR WB opérés . . . . .	227
<b>Partie 4C. De la <i>base station</i> au serveur</b> . . . . .	<b>235</b>
<b>Chapitre 14. Couche accès réseaux-IP</b> . . . . .	<b>239</b>
14.1. IPv4 . . . . .	239
14.1.1. Fonctionnement . . . . .	240
14.1.2. Services délivrés . . . . .	240
14.1.3. Fiabilité . . . . .	240

---

14.2. IPv6 . . . . .	241
14.2.1. Différences d'IPv6 par rapport à IPv4 ? . . . . .	241
14.2.2. Problèmes vie privée et/ou anonymat ? . . . . .	243
14.3. 6LoWPAN . . . . .	243
14.3.1. Description de la technologie . . . . .	244
<b>Chapitre 15. Le serveur . . . . .</b>	<b>247</b>
15.1. Fonctions conventionnelles d'un serveur IoT . . . . .	248
<b>Chapitre 16. Protocoles de transport et de messagerie . . . . .</b>	<b>249</b>
16.1. Le transport . . . . .	249
16.1.1. Fonctionnement . . . . .	250
16.1.2. Structure d'un segment TCP . . . . .	250
16.2. Les technologies d' <i>IoT Messaging</i> . . . . .	251
16.2.1. Paramètres principaux des protocoles . . . . .	251
16.3. Les protocoles . . . . .	255
16.3.1. <i>HyperText Transfer Protocol</i> (HTTP) . . . . .	256
16.3.2. HTTP/2 . . . . .	257
16.3.3. <i>Message Queuing Telemetry Transport</i> (MQTT) . . . . .	257
16.3.4. <i>Constrained Application Protocol</i> (CoAP) . . . . .	259
16.3.5. <i>Extensible Messaging and Presence Protocol</i> (XMPP) . . . . .	260
16.3.6. <i>Data Distribution Service</i> (DDS) . . . . .	261
16.3.7. <i>Advanced Message Queuing Protocol</i> (AMQP) . . . . .	262
16.3.8. SMQ . . . . .	263
16.3.9. <i>Java Message Service</i> (JMS) . . . . .	263
16.3.10. Autres protocoles . . . . .	264
16.3.11. Le <i>broker</i> . . . . .	265
16.3.12. Les langages de programmation . . . . .	266
16.3.13. Les systèmes d'exploitation . . . . .	267
<b>Partie 4D. Du serveur <i>Cloud</i> aux différents utilisateurs . . . . .</b>	<b>269</b>
<b>Chapitre 17. <i>Cloud</i> et <i>Fog Computing</i> . . . . .</b>	<b>273</b>
17.1. Le <i>Cloud Computing</i> ? . . . . .	273
17.1.1. Quel est son mode de fonctionnement ? . . . . .	273
17.1.2. Avantages et bénéfices dans les applications IoT . . . . .	274
17.1.3. Types de <i>Cloud Computing</i> . . . . .	275
17.1.4. Produits et services du <i>Cloud</i> . . . . .	276

---

17.2. Exemple : la plateforme PaaS AWS IoT . . . . .	276
17.2.1. Comment est gérée la sécurité ? . . . . .	278
17.3. Le <i>Fog Computing</i> ? . . . . .	279
17.4. <i>Big Data</i> . . . . .	280
17.5. Interfaces naturelles . . . . .	281
<b>Partie 5. Concrétisation d'une solution IoT – Exemples et coûts . . .</b>	<b>283</b>
<b>Chapitre 18. Exemples de concrétisation d'Objets connectés . . .</b>	<b>287</b>
18.1. Sujet/application prise comme exemple . . . . .	287
18.1.1. Architecture du produit Objet communicant physique . . . . .	289
18.1.2. Etapes obligatoires de la concrétisation de l'Objet. . . . .	291
<b>Chapitre 19. Les aspects des coûts . . . . .</b>	<b>295</b>
19.1. CAPEX et OPEX sont dans un bateau... . . . . .	295
19.1.1. CAPEX . . . . .	296
19.1.2. OPEX . . . . .	306
19.1.3. Conclusions <i>very</i> importantes . . . . .	309
<b>Conclusion . . . . .</b>	<b>311</b>
<b>Bibliographie . . . . .</b>	<b>313</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>317</b>